

10/705220  
1/21/04

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-276154

(43)Date of publication of application : 30.09.1994

(51)Int.Cl.

H04B 10/04

G02B 5/28

G02F 1/35

H04B 3/06

H04J 14/02

(21)Application number : 05-060047

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 19.03.1993

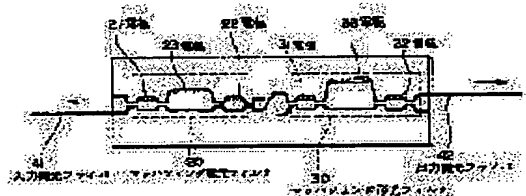
(72)Inventor : TOBA HIROSHI  
ODA KAZUHIRO  
INOUE YASUSHI

## (54) OPTICAL GAIN EQUALIZING CIRCUIT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an optical gain equalizing circuit whereby a sufficient transmission characteristic is secured even when the number of stage in an optical amplifier is large and even when the umbalance of the gain is large.

CONSTITUTION: First and second Much-Zehnder-shape filters 20 and 30 with mutually different change cycles on the wave-length (or optical frequency) axis of transmissivity are continuously connected. Thus, the nonuniformity of a gain wave-length (or optical frequency) characteristic which cannot be flattened by the first Much-Zehnder-shape optical filter 20 can be flattened by the second Much-Zehnder-shape optical filter 30 with the change cycle on the wave-length (or optical frequency) axis of transmissivity, being different from that of the above first Much-Zehnder-shape optical filter 20.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 22.01.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-276154

(43)公開日 平成6年(1994)9月30日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/04				
G 0 2 B 5/28		8507-2K		
G 0 2 F 1/35	5 0 1	9316-2K		
		8523-5K	H 0 4 B 9/ 00	S
		8523-5K		E

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-60047

(22)出願日 平成5年(1993)3月19日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 鳥羽 弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 織田 一弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 井上 恭

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

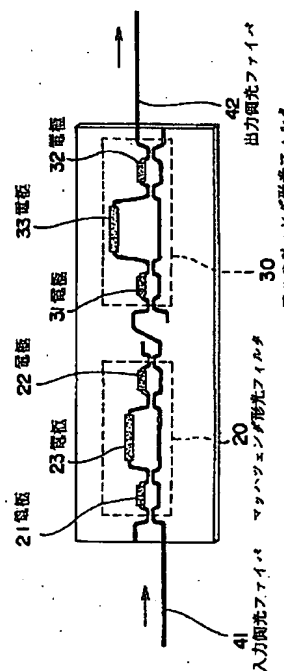
(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

(54)【発明の名称】 光利得等化回路

## (57)【要約】

【目的】 光増幅器の段数が多い場合やその利得のアンバランスが大きい場合でも良好な伝送特性を確保できる光利得等化回路を提供する。

【構成】 透過率の波長(又は光周波数)軸上における変化周期が互いに異なる第1及び第2のマッハツェンダ形光フィルタ20及び30を縦続接続することにより、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20では平坦化しきれなかった利得波長(又は光周波数)特性の不均一性を、該第1のマッハツェンダ形光フィルタ20とは透過率の波長(又は光周波数)軸上における変化周期が異なる第2のマッハツェンダ形光フィルタ30で平坦化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長が互いに異なる複数の多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器の利得波長特性を平坦化する光利得等化回路において、

透過率の波長軸上における変化周期が互いに異なる少なくとも2個のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続してなることを特徴とする光利得等化回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光波長（又は光周波数）多重伝送方式に用いられる光利得等化回路に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光波長（又は光周波数）多重伝送方式とは、1本の光ファイバに、情報の乗った波長（又は光周波数）が互いに異なる複数の信号光を多重化し、伝送する方式である。前記方式に、多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器を適用すると、伝送系の送受信レベル差が改善され、長距離伝送系における伝送距離の拡大や情報分配伝送系における分配数の増大が可能となる。

【0003】ところで、一般に、光増幅器の利得は波長によって一定でないことから、波長多重された信号光を一括して増幅する場合、増幅後の光レベルは波長によって異なり、特に複数の光増幅器を透過した信号光ではこの光レベルの差が累積する。この結果、受信端において多重化された信号光を分波して受信する際、光レベルが波長によって異なり、特に光レベルの低いチャンネルにおいては、チャンネル間クロストークの増加やSN比の劣化が生じ、受信感度が劣化するという問題があった。

【0004】前述した光増幅器の利得の波長依存性を補償する方法としては、従来、可変透過率特性を有する可\*

$$T \approx 1 - A \cdot \cos^2 \{ (\lambda - \lambda_0) \pi / \Delta \lambda \} \quad \dots\dots(1)$$

と表される。但し、ここで、 $\lambda$ は動作波長、 $\lambda_0$ は本光利得等化回路の透過率が最小値となる中心波長、 $A$ は $0 < A \leq 1$ を満たす実数である。この透過率特性は周期 $\Delta \lambda$ の周期性を有している。

【0008】図3は前記光利得等化回路の透過率特性を示すものである。ここで、位相調整用電極6a及び7aのバイアス電流を調整することにより、前記(1)式のAを変化させることができ、実線11で示された原透過率特性の利得補償量を破線12で示すように調整することが可能である。また、電極4aのバイアス電流を調整することにより、前記(1)式の $\lambda_0$ を変化させることができ、透過率特性の中心波長を一点鎖線13で示すように調整することが可能である。

【0009】図4は前記文献2に掲載された利得等化のようすを示すものである。ここでは光波長1548nmから1556nmを占有する波長間隔0.08nm（光周波数間隔10GHz）で多重化された100チャンネルの信号光を、

\* 同調マッハツェンダ形光フィルタを光利得等化回路として用いて光波長多重信号出力を平坦化した例がある（文献1：K.Inoue, T.Kominato, and H.Toba, "Tunable gain equalization using a Mach-Zehnder optical filter in multi-stage fiber amplifiers" IEEE Photon. Technol. Lett., vol.3, No.8, pp.718-720, 1991、又は文献2：H.Toba, K.Nakanishi, K.Oda, K.Inoue, and T.Kominato, "A 100-channel optical FDM in-line amplifier system employing tunable gain equalizers" ECOC'92 論文集pp.113-116参照）。

【0005】図2は前述した文献に掲載されている光利得等化回路を示すものである。図2(a)は光増幅器と光利得等化回路との接続態様を示すもので、光ファイバ1より光増幅器2に入力され、増幅されて出力された光波長多重信号の光レベルのアンバランスを光利得等化回路3により平坦化する如くなっている。

【0006】図2(b)は光利得等化回路の詳細な構成を示すもので、長さの異なる2本の導波路4、5の入力側及び出力側をそれぞれ方向性結合器6及び7で接続したマッハツェンダ形光フィルタの構成を有している。前記入力側及び出力側の方向性結合器6及び7は対称型のマッハツェンダ干渉計の構造を有し、それぞれの位相調整用の電極6a及び7aへのバイアス電流を調整することにより、その結合効率を変化させることができる。電極6a及び7aとしては、例えばCrヒータを用いることができ、該電極6a及び7aに電流を流すことによって生ずる熱光学効果により位相を調整することが可能である。

【0007】図2(b)において、入力側の光ファイバ8から出力側の光ファイバ9への透過率特性は、導波路損失やファイバ導波路間接続損失等の過剰損失を除いた場合、

多段接続されたアルミニウム共添加のエルビウム添加光増幅器で増幅した際のスペクトルを示す。

【0010】図4の左側には光増幅器の入力スペクトルと、光利得等化回路を使用しない場合の3段目及び6段目の光増幅器の出力スペクトルとを示している。光利得等化回路を使用しない場合、光波長多重信号の光レベルのアンバランスは光増幅器の段数とともに増大することがわかる。また、図4の右側には図2に示した光利得等化回路を3段の光増幅器毎に挿入した場合の該光利得等化回路の出力スペクトルを示している。光利得等化回路を使用した場合、光波長多重信号の光レベルのアンバランスを、ある程度補償できることがわかる。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図4の右側に示した光利得等化回路有りのスペクトルを詳細にみると、3段目の光増幅器出力に対応したスペクトルはほぼ平坦な特性を示しているが、6段目の光増幅器出力

10

20

30

40

50

に対応したスペクトルは平坦性が劣化し、スペクトルの中心付近が盛り上がった、上に凸の特性となっていることがわかる。この平坦性の劣化傾向は光増幅器の段数の増加とともにさらに増大し、前述した光利得等化回路を用いても伝送特性が劣化するという問題があった。

【0012】本発明は前記従来の問題点に鑑み、光増幅器の段数が多い場合やその利得のアンバランスが大きい場合でも良好な伝送特性を確保できる光利得等化回路を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明では前記目的を達成するため、波長（又は光周波数）が互いに異なる複数の多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器の利得波長（又は光周波数）特性を平坦化する光利得等化回路において、透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なる少なくとも2個のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続してなる光利得等化回路を提案する。

【0014】

【作用】マッハツェンダ形光フィルタは波長（又は光周波数）軸上において正弦波状に変化する透過率特性を有する。ところで、互いに異なる周期を有する複数の正弦波を重畳することにより、任意の波形を形成可能であることはフーリエ級数展開法から明らかである。そこで、透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なる複数のマッハ・ツェンダ形光フィルタを縦続接続することにより、任意の透過率特性を実現することが原理的に可能である（なお、縦続接続するマッハツェンダ形光フィルタの段数は、要求される光増幅器出力の平坦性に応じて決定することになる。）。

【0015】本発明の光利得等化回路によれば、従来のマッハツェンダ形光フィルタを一段のみ用いた光利得等化回路では平坦化しきれなかった利得波長（又は光周波数）特性の不均一性が、1段目とは透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が異なる2段目以降のマッハツェンダ形光フィルタで平坦化される。

【0016】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明を詳細に説明する。図1は本発明の光利得等化回路の一実施例を示すもので、図中、20は第1のマッハツェンダ形光フィルタ、30は第2のマッハツェンダ形光フィルタ、41は入力側光ファイバ、42は出力側光ファイバである。

【0017】マッハツェンダ形光フィルタ20及び30は透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期が互いに異なるものであり、2段縦続に接続されている。各マッハツェンダ形光フィルタ20、30の構成は図2に示したものと基本的に同様であり、マッハツェンダ形光フィルタ20における電極21及び22並びにマッハツェンダ形光フィルタ30における電極31及び32は透過率特性の利得補償量を調整するためのものであ

り、また、マッハツェンダ形光フィルタ20における電極23並びにマッハツェンダ形光フィルタ30における電極33は各々の透過率特性の中心波長を調整するためのものである。

【0018】本実施例の具体的な作用を実測データを用いて説明する。図5は光増幅器の入出力スペクトルの実測値の一例を示すもので、ここでは波長1549.5nmから1559.8nmの帯域を有する光周波数間隔10GHzで多重化された128チャネルの信号光を、アルミニウム共添加エルビウム添加光増幅器で増幅した際のスペクトルを示す。前記実測結果によれば、この使用波長帯域において、光増幅器の利得は長波長のチャネルほど大きく、しかも利得の増加率は長波長になるに従って飽和する傾向を示していることがわかる。

【0019】図6は本回路による利得等化のようすを示すもので、図5から読取った光増幅器の利得スペクトルを曲線G1で示す。これに対し、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20として周期 $\Delta\lambda = 25\text{nm}$ のものを選り、これを中心波長 $\lambda_0 = 1546.570\text{nm}$ 、 $A = 1$ に調整すると、その透過率特性は図6中のF1で示される曲線となる。この結果、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20で補償された光増幅器の利得スペクトルは図6中のG2で示される曲線となり、右上りの利得の波長依存性は改善されるが、上に凸の波長特性となり、2.7dBの残留利得偏差が生じる。

【0020】ここで、さらに第2のマッハツェンダ形光フィルタ30として周期 $\Delta\lambda = 7.5\text{nm}$ のものを選り、これを中心波長 $\lambda_0 = 1555\text{nm}$ 、 $A = 0.46$ に調整すると、その透過率特性は図6中のF2で示される曲線となる。この結果、第1のマッハツェンダ形光フィルタ20と第2のマッハツェンダ形光フィルタ30とで補償された光増幅器の利得スペクトルは図6中のG3で示される曲線となり、残留利得偏差は0.7dBに抑圧される。

【0021】このように透過率の波長（又は光周波数）軸上における変化周期の異なる2種類のマッハツェンダ形光フィルタを用いることにより、利得の波長依存性を極めて平坦にすることが可能となる。

【0022】本実施例ではマッハツェンダ形光フィルタの直後に別のマッハツェンダ形光フィルタを縦続接続したが、両者を離して配置しても問題はない。また、本実施例では光増幅器の出力段にマッハツェンダ形光フィルタを配置したが、入力段に配置しても良い。

【0023】また、本実施例では変化周期の異なるマッハツェンダ形光フィルタを2段縦続接続して用いたが、光増幅器の利得の波長依存性によっては、変化周期の異なるマッハツェンダ形光フィルタをさらに複数、縦続接続して利得を平坦化することも可能である。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、光増幅器の利得の波長依存性を、光増幅器の段数やそのア

10

20

30

40

50

ンバランスの大きさに拘らず、適切に補償することができ、光波長多重信号の光レベルを極めて平坦にすることができ、従って、光波長（又は光周波数）多重伝送方式において光増幅器の段数を従来と比較して増大することができ、また、長距離伝送系においては伝送距離の拡大、情報分配伝送系においては分配数の増大が可能となる。また、光増幅器のみでなく、送受信回路間に存在する伝送路中の他の光回路の透過率特性の波長依存性についても本光利得等化回路により補償でき、波長特性を平坦化することが可能であることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光利得等化回路の一実施例を示す構成\*

\*図

【図2】従来の光利得等化回路の一例を示す図

【図3】従来の光利得等化回路の透過率特性を示す図

【図4】従来の光利得等化回路を用いた場合の光波長多重信号の増幅特性を示す図

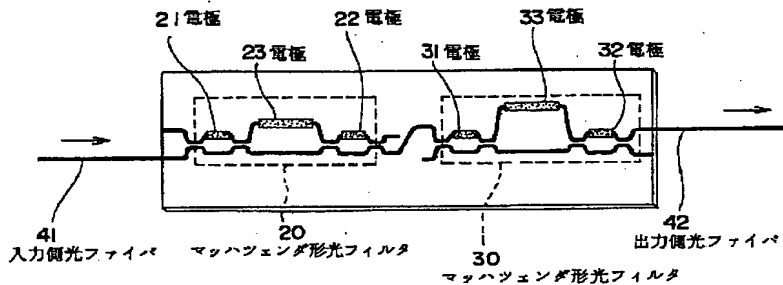
【図5】光増幅器の入出力スペクトルの実測値の一例を示す図

【図6】本回路による利得等化のようすを示す図

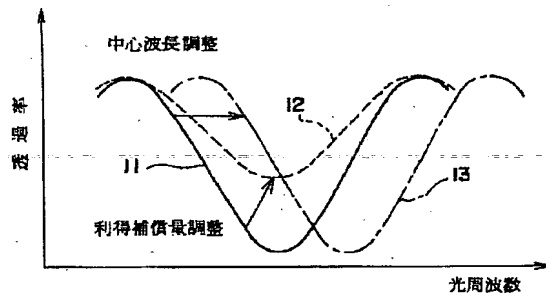
【符号の説明】

10 20…第1のマッハツェンダ形光フィルタ、30…第2のマッハツェンダ形光フィルタ、41…入力側光ファイバ、42…出力側光ファイバ。

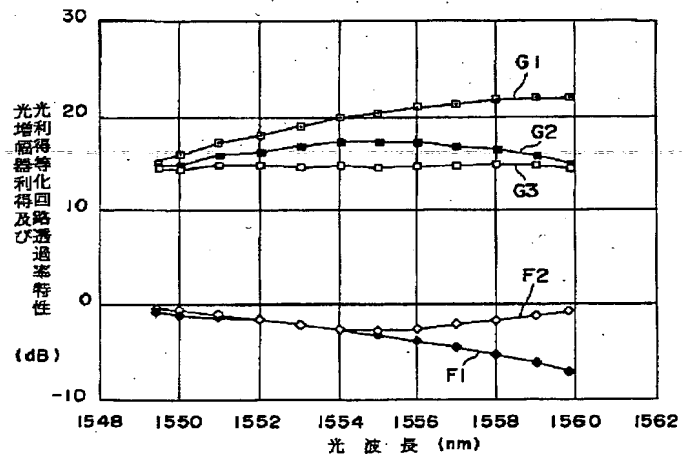
【図1】



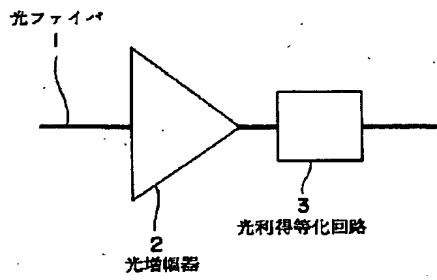
【図3】



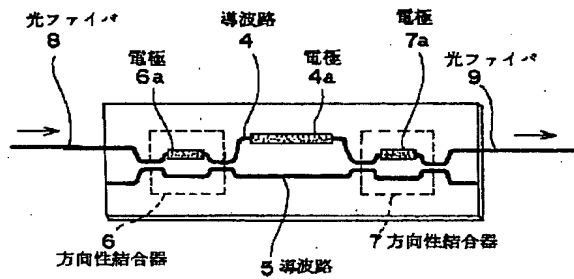
【図6】



【図2】

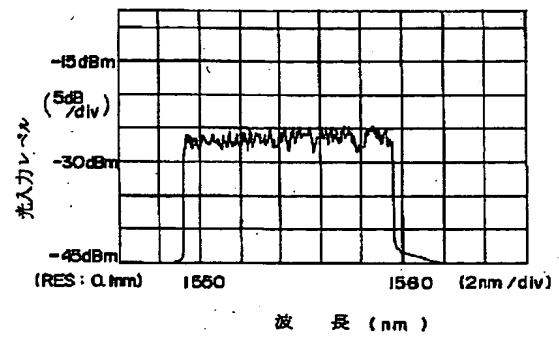


(a)

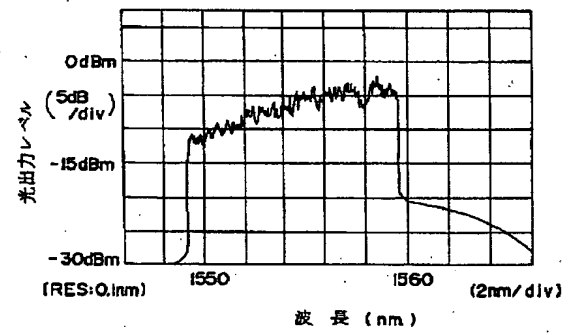


(b)

【図5】

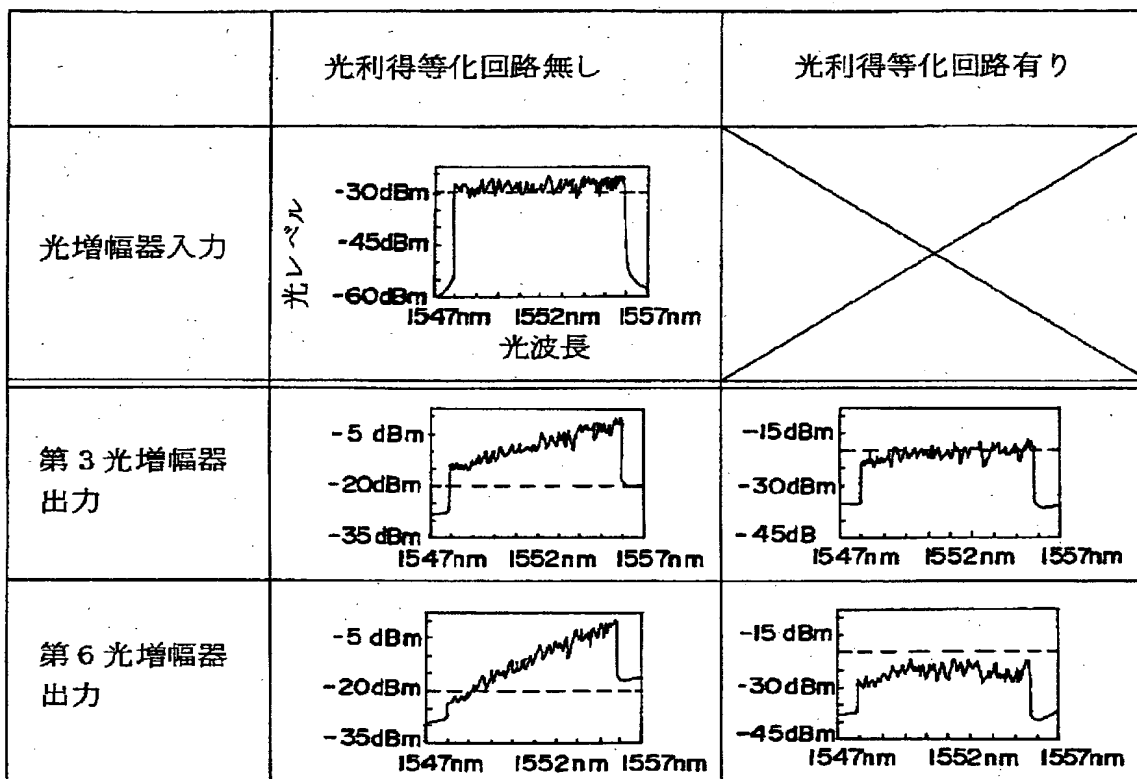


(a)



(b)

【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H04B 3/06

H04J 14/02

識別記号

庁内整理番号

A 7741-5K

F I

技術表示箇所



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-244079

(43)Date of publication of application : 19.09.1997

(51)Int.Cl.

G02F 1/35

G02B 5/20

H01S 3/10

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 08-050654

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 07.03.1996

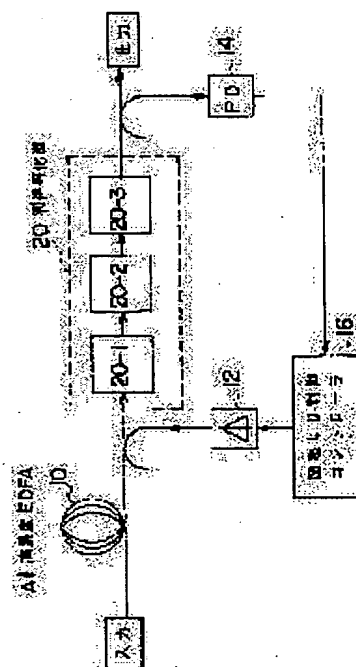
(72)Inventor : SHIMOJO NAOMASA  
TERAHARA TAKAFUMI  
CHIKAMA TERUMI

## (54) GAIN EQUALIZER AND LIGHT TRANSMISSION SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make possible equalizing a gain characteristic of an optical amplifier for a wavelength ranging to a wide wavelength band by providing plural periodic optical filters connected to the optical amplifier and having a transmission characteristic making the wavelength decided based on a wavelength difference between gain peaks a period.

**SOLUTION:** An inputted wavelength multiplex optical signal is amplified by an A1 high density EDFA 10 to be outputted through the optical filter 20 being a gain equalizer. The optical signal in the A1 high density EDFA 10 is amplified by energy supplied from an excitation LD 12. The optical signal supplied to an output terminal is monitored by a photodetector 14, and an excitation LD controller 16 adjusts the output energy of the excitation LD 12 so as to fix the output power of the light signal based on the monitored value. Further, the optical filter 20 is provided with plural optical filters 20-1 to 20-3 connected in series, and equalizes the amplification characteristic of the A1 high density EDFA 10 ranging to the wide band.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9-244079

(43) 公開日 平成9年(1997)9月19日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35 5 0 1	
G 0 2 B 5/20			G 0 2 B 5/20	
H 0 1 S 3/10			H 0 1 S 3/10 Z	
H 0 4 B 10/02			H 0 4 B 9/00 M	
10/18				
審査請求 未請求 請求項の数 17			O L	(全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平8-50654

(22) 出願日 平成8年(1996)3月7日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 下條 直政

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 寺原 隆文

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 近間 輝美

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 伊東 忠彦

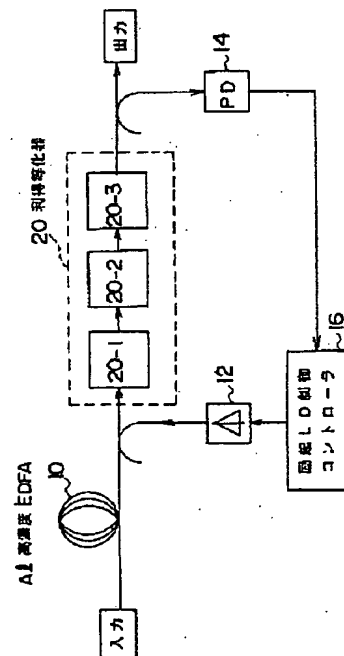
(54) 【発明の名称】 利得等化器及び光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 光増幅器を用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の波長に対する利得特性を広い波長帯域にわたり等化できる利得等化器を提供する。

【解決手段】 複数の波長に対して利得ピークを有する光増幅器の利得特性を等化するための利得等化器であって、前記光増幅器に接続され、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を基本周期とする透過特性を有する複数の周期的光フィルタを有する。

本発明に係わる第1の原理に基づく利得等化器の構成例



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長に対して利得ピークを有する光増幅器の利得特性を等化するための利得等化器であつて、前記光増幅器に接続され、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を基本周期とする透過特性を有する複数の周期的光フィルタを有することを特徴とする利得等化器。

【請求項2】 前記複数の周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2^n$ （ $n$ は自然数）の波長を周期とする透過特性を有する少なくとも1つの第2の周期的光フィルタとを有することを特徴とする請求項1記載の利得等化器。

【請求項3】 前記光増幅器が、所定の信号帯域で2つの波長において利得ピークを示す利得特性を有する光ファイバ増幅器で構成されている場合、前記周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2$ の波長を周期とする透過特性を有する第2の周期的光フィルタとで構成されることを特徴とする請求項2記載の利得等化器。

【請求項4】 前記光増幅器が、所定の信号帯域で実質的に同じ波長間隔の3つの波長において第1、第2及び第3の利得ピークを示す利得特性を有する光ファイバ増幅器で構成されている場合、前記周期的光フィルタは、前記第1及び第3の利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2$ の波長を周期とする透過特性を有する第2の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/4$ の波長を周期とする透過特性を有する第3の周期的光フィルタとで構成されることを特徴とする請求項2記載の利得等化器。

【請求項5】 前記周期的光フィルタは、ファブリペローエタロンフィルタで形成されていることを特徴とする請求項1乃至4のうちいずれか1項記載の利得等化器。

【請求項6】 前記複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されていることを特徴とする請求項2記載の利得等化器。

【請求項7】 前記複数の周期的光フィルタは、分波光パスに並列に接続され、入力光は入力段において、光強度的に当分割された後、それぞれの前記周期的光フィルタを通過後、再び合波されて出力されることを特徴とする請求項2記載の利得等化器。

【請求項8】 前記複数の周期的光フィルタの各々に対して位相補償器を有し、結合される前記分波された光信号の位相が調整されることを特徴とする請求項7記載の利得等化器。

【請求項9】 前記光増幅器の利得特性の前記利得ピー

クのうち少なくとも1つを遮断する遮断光フィルタを有することを特徴とする請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器。

【請求項10】 前記遮断光フィルタは、ノッチフィルタで構成されることを特徴とする請求項9記載の利得等化器。

【請求項11】 端局からのコマンドを受信するコマンド受信部をさらに有し、端局からのコマンドに基づいて前記周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整されることを特徴とする請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器。

【請求項12】 所定の帯域において複数の光信号を波長多重した波長多重光信号を伝送するための光伝送システムであつて、

前記所定の帯域において複数の波長に対して利得ピークを有する利得特性を示す少なくとも1つの光ファイバ増幅器と、

前記光ファイバ増幅器に接続され、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を周期とする透過特性を有する複数の周期的光フィルタを有し、前記光ファイバ増幅器の利得特性を前記所定の帯域において等化するための利得等化器とを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項13】 前記複数の周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2^n$ （ $n$ は自然数）の波長を周期とする透過特性を有する少なくとも1つの第2の周期的光フィルタとを有することを特徴とする請求項12記載の光伝送システム。

【請求項14】 前記複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されていることを特徴とする請求項13記載の光伝送システム。

【請求項15】 前記利得等化器は、伝送路に複数分散して縦列状に配置されていることを特徴とする請求項13記載の光伝送システム。

【請求項16】 前記複数の周期的光フィルタは、分波光パスに並列に接続され、入力光は入力段において、光強度的に当分割された後、それぞれの前記周期的光フィルタを通過後、再び合波されて出力されることを特徴とする請求項13記載の光伝送システム。

【請求項17】 前記周期的光フィルタは、端局からのコマンドを受信するコマンド受信部をさらに有し、端局からのコマンドに基づいて、出力における波長多重光信号の各チャネルの光信号対雑音比が実質的に等しくなるように前記周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整されることを特徴とする請求項13乃至16のうちいずれか1項記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、利得等化器及び光伝送システムに関し、特に、光通信システム等に用いられる光増幅中継器の利得特性を等化するための利得等化器及び光伝送システムに関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】従来、基幹系伝送システムでは、通信量を増大するために、ビットレートを増加してきた。さらに、伝送距離を増大するために、中継器の数を増加してきた。しかしながら、10 Gbit/s以上の容量が必要なシステムでは、高速の電子回路が必要であるが、そのような回路のコストは高く、信頼性も低い。

【0003】特に、海底超長距離光増幅中継伝送システムでは、数10段中継する必要がある、且つ非常に高い信頼性を要求される。このような場合には、ビットレートを増加するよりも、複数の異なる波長の光信号を多重化して伝送する方法が採用されている。この方法では、中継器における光増幅器において、波長多重光信号が一括増幅されて伝送される。

【0004】波長多重光信号を数10台以上中継して伝送すると、中継器における光増幅器の波長帯域に対する非平坦な利得特性（ゲインチルト）によって、各波長の光信号の光SNRに偏差が生じる。光SNRの偏差が生じると、多段中継の間に、低SNRの光信号がさらに劣化する。従って、利得平坦な（等しいSNRの）信号帯域を常に確保する必要がある。

【0005】上述の中継器における光増幅器として、一般的に光信号を光のまま増幅する光ファイバ増幅器が使用されている。さらに、光ファイバ増幅器としては、Er（エルビウム）添加光ファイバ増幅器（Erbium-doped optical fiber amplifier: EDFA）が広く使用されている。このEDFAは、外部から励起（ポンピング）光を供給することによって、入力光を増幅する機能を有している。光信号を光のまま増幅する光増幅器は、高速の電子回路が不要であり、高利得、高出力、信号速度の依存性が低いという優れた特性を有している。

【0006】EDFAの利得特性は、一般的に光ファイバ母材の組成に基づく利得波長特性を有し、長距離光伝送で用いられる1.5~1.6 μmの波長帯域で完全に平坦な利得波長特性ではない。この波長帯域においては、中継器の数が増加すると、波長依存性が増大し、各波長間でSNRの偏差が増加する。

【0007】図16に、従来のEDFAを用いた中継器を複数中継した場合の、光スペクトル波形を示す。

(A)は、中継器を10段中継した場合、(B)は、中継器を60段中継した場合である。ただし、A1低濃度（1 Wt %以下）EDFが使用され、4波長の光信号が多重化された場合を示している。

【0008】図16の(A)で見られるように、10段の中継の場合、光SNRの偏差は小さく問題は小さい

が、60段の中継の場合は、さらに、その偏差は増加し、SNRが十分な信号と不十分な信号が存在し問題である。従って、10中継以上の多段接続を行なう場合は、各光信号の利得偏差を補償する必要があることがわかる。

【0009】利得偏差を補償する方法として、従来、幾つかの方法が提案されている。例えば、(1) A1低濃度（1 Wt %以下）の従来型EDFとファブリペローエタロン光フィルタを用いて信号帯域を確保した報告（池田他、“エタロンフィルタによる光増幅器の利得平坦化”，1995年秋季電子情報通信学会通信ソサイエティ大会，B-759）、(2) A1低濃度EDFとファイバグレーティングフィルタを用い利得を平坦化して2.0波6300 km伝送を実現した報告（N. S. Bergano et al., “100Gb/s WDM Transmission of Twenty 5Gb/s NRZ Data Channels Over Transoceanic Distances Using a Gain Flattened Amplifier Chain”, Th. A. 3.1, ECOC '95）、(3) Mach-Zehnder型利得等化器とA1低濃度光増幅器を用いて利得等化した報告（Kazuhiro Oda et al., “16-Channel×10-Gbit/s Optical FDM Transmission Over a 1000km Conventional Single-Mode Fiber Employing Dispersion-Compensating Fiber and Gain Equalization”，信号帯域は1550~1560nmの10nm、利得等化器の負の傾斜の部分に信号を配置している）である。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の増幅特性の補償方法には次のような問題点がある。上述の従来例では、基本的にEDFAの増幅特性の1つの利得のピーク、或は正または負の利得傾斜の比較的狭い帯域において、増幅特性が補償されている。即ち、それらの帯域に対して、EDFAの増幅特性と逆特性の透過特性をもつ光部品を用いることによって増幅特性が平坦化され、波長多重光信号がその帯域において伝送される。この場合、増幅特性の利得のピーク部分及び利得傾斜の部分の帯域は限られており、上記の方法では、それらの帯域以上に信号帯域を拡大することは難しかった。

【0011】また、数10段中継伝送しても1.53 μm帯~1.56 μm帯の数10 nmに渡って完全に平坦な利得増幅特性をもつEDFAを開発することも難しい。本発明の目的は、上記の問題点を鑑みて、光増幅器を用いた光伝送システムにおいて、光増幅器の波長に対する利得特性を広い波長帯域にわたり等化できる利得等化器を提供する。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明では、下記的手段を講じたことを特徴とするものである。請求項1記載の発明装置では、複数の波長に対して利得ピークを有する光増幅器の利得特性を等化す

るための利得等化器であって、前記光増幅器に接続され、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を周期とする透過特性を有する複数の周期的光フィルタを有することを特徴とする。

【0013】請求項2記載の発明装置では、請求項1記載の利得等化器において、前記複数の周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2^n$  ( $n$ は自然数)の波長を周期とする透過特性を有する少なくとも1つの第2の周期的光フィルタとを有することを特徴とする。

【0014】請求項3記載の発明装置では、請求項2記載の利得等化器において、前記光増幅器が、所定の信号帯域で2つの波長において利得ピークを示す利得特性を有する光ファイバ増幅器で構成されている場合、前記周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2$ の波長を周期とする透過特性を有する第2の周期的光フィルタとで構成されることを特徴とする。

【0015】請求項4記載の発明装置では、請求項2記載の利得等化器において、前記光増幅器が、所定の信号帯域で実質的に同じ波長間隔の3つの波長において第1、第2及び第3の利得ピークを示す利得特性を有する光ファイバ増幅器で構成されている場合、前記周期的光フィルタは、前記第1及び第3の利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2$ の波長を周期とする透過特性を有する第2の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/4$ の波長を周期とする透過特性を有する第3の周期的光フィルタとで構成されることを特徴とする。

【0016】請求項5記載の発明装置では、請求項1乃至4のうちいずれか1項記載の利得等化器において、前記周期的光フィルタは、ファブリペローエタロンフィルタで形成されていることを特徴とする。

【0017】請求項6記載の発明装置では、請求項2記載の利得等化器において、前記複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されていることを特徴とする。請求項7記載の発明装置では、請求項2記載の利得等化器において、前記複数の周期的光フィルタは、分波光パスに並列に接続され、入力光は入力段において、光強度的に当分割された後、それぞれの前記周期的光フィルタを通過後、再び合波されて出力されることを特徴とする。

【0018】請求項8記載の発明装置では、請求項7記載の利得等化器において、前記複数の周期的光フィルタの各々に対して位相補償器を有し、結合される前記分波された光信号の位相が調整されることを特徴とする。

【0019】請求項9記載の発明装置では、請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器において、前

記光増幅器の利得特性の前記利得ピークのうち少なくとも1つを遮断する遮断光フィルタを有することを特徴とする。

【0020】請求項10記載の発明装置では、請求項9記載の利得等化器において、前記遮断光フィルタは、ノッチフィルタで構成されることを特徴とする。請求項11記載の発明装置では、請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器において、端局からのコマンドを受信するコマンド受信部をさらに有し、端局からのコマンドに基づいて前記周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整されることを特徴とする。

【0021】請求項12記載の発明装置では、所定の帯域において複数の光信号を波長多重した波長多重光信号を伝送するための光伝送システムであって、前記所定の帯域において複数の波長に対して利得ピークを有する利得特性を示す少なくとも1つの光ファイバ増幅器と、前記光ファイバ増幅器に接続され、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を周期とする透過特性を有する複数の周期的光フィルタを有し、前記光ファイバ増幅器の利得特性を前記所定の帯域において等化するための利得等化器とを有することを特徴とする。

【0022】請求項13記載の発明装置では、請求項12記載の光伝送システムにおいて、前記複数の周期的光フィルタは、前記利得ピーク間の波長差に基づいて定まる基本波長を周期とする透過特性を有する第1の周期的光フィルタと、前記基本波長の $1/2^n$  ( $n$ は自然数)の波長を周期とする透過特性を有する少なくとも1つの第2の周期的光フィルタとを有することを特徴とする。

【0023】請求項14記載の発明装置では、請求項13記載の光伝送システムにおいて、前記複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されていることを特徴とする。請求項15記載の発明装置では、請求項13記載の光伝送システムにおいて、前記利得等化器は、伝送路に複数分散して縦列状に配置されていることを特徴とする。

【0024】請求項16記載の発明装置では、請求項13記載の光伝送システムにおいて、前記複数の周期的光フィルタは、分波光パスに並列に接続され、入力光は入力段において、光強度的に当分割された後、それぞれの前記周期的光フィルタを通過後、再び合波されて出力されることを特徴とする。

【0025】請求項17記載の発明装置では、請求項13乃至16のうちいずれか1項記載の光伝送システムにおいて、前記周期的光フィルタは、端局からのコマンドを受信するコマンド受信部をさらに有し、端局からのコマンドに基づいて、出力における波長多重光信号の各チャネルの光信号対雑音比が実質的に等しくなるように前記周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整されることを特徴とする。

【0026】上述した発明装置は、以下のように作用す

る。請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器、及び請求項12又は13記載の光伝送システムにおいては、基本となる周期的光フィルタの透過特性は、光増幅器の利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を基本周期として持ち、その他の複数の周期的光フィルタは、その基本周期の $1/2^n$  ( $n$ は自然数)の長さの周期を有する。それらの複数の周期的光フィルタの透過特性を合成することによって、光増幅器の利得特性と逆の特性を形成することができる。従って、この利得等化器によって、光増幅器の利得特性を等化でき、これにより、広帯域な信号伝送帯域を実現することができる。

【0027】特に、請求項5記載の利得等化器では、周期的光フィルタが図3に示されるようなファブリペローエタロンフィルタで構成されており、所望の波長周期の透過特性が実現可能である。請求項6記載の利得等化器及び請求項14記載の光伝送システムにおいては、複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されている。従って、簡易な構成によって、複数の利得ピークを有する光増幅器の利得特性を、広帯域に等化することができる。

【0028】請求項15記載の光伝送システムにおいては、複数の利得等化器が、伝送路に複数の中継器を通過した後に分散して縦列状に配置されている。従って、この場合には、1つの利得等化器が複数の光増幅器による利得偏差を等化する。請求項7又は8記載の利得等化器及び請求項16記載の光伝送システムにおいては、波長多重光信号は複数の波長多重光信号に分波され、それぞれが周期的光フィルタを通過した後再び結合される。このように、複数の周期的光フィルタを並列に接続することによっても、複数の周期的光フィルタの透過特性を合成することができる。従って、このように構成された利得等化器においても、複数の利得ピークを有する光増幅器の利得特性を、広帯域に等化することができる。

【0029】請求項9又は10記載の利得等化器においては、光増幅器の利得特性の利得ピークのうち少なくとも1つが遮断光フィルタによって遮断される。この遮断光フィルタは、特定の帯域のASE(自然的に発生する雑音レベル)光が大きくなるシステムに対し有効であり、光SNRの劣化を抑圧できる。

【0030】請求項11記載の利得等化器においては、端局からのコマンドに基づいて周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整される。従って、経年変化によって光増幅器の利得特性が変化した場合や、光増幅器が故障した場合等に、利得等化器の透過特性を適切に調節できる。

【0031】請求項17記載の光伝送システムにおいては、出力における波長多重光信号の各チャネルの光信号対雑音比が実質的に等しくなるように調整できる。

【0032】

【発明の実施の形態】最初に、本発明に係わる利得等化器の原理について図1及び図2を用いて説明する。図1

は、本発明に係わる原理に基づく利得等化器の構成例である。図2は、本発明に係わる利得等化器の原理を説明するための図である。

【0033】図1では、入力された波長多重光信号は、A1高濃度EDFA10で増幅され、利得等化器である光フィルタ20を介して出力される。A1高濃度EDFA10内の光信号は、励起LD12から供給されるエネルギーによって増幅される。出力端子に供給される光信号は、光検出器14でモニタされ、そのモニタ値を基に励起LD制御コントローラ16は、光信号の出力パワーを一定にするように励起LD12の出力エネルギーを調整する。

【0034】A1高濃度EDFA10の波長に対する増幅特性は、図2の最上段の図に示されている。後で詳細に述べるが、A1高濃度EDFAの場合、増幅特性に3つのピークが存在する。また、これらのピークのレベルは異なり、波長間隔は実質的に同じである。

【0035】また、光フィルタ20は、直列に接続された複数の光フィルタ20-1、20-2、20-3を有しており、A1高濃度EDFA10の増幅特性を広帯域に亘り等化する。光フィルタ20-1、20-2、20-3の各々は、ファブリペローエタロンフィルタ(Fabry-Perot etalon filter)で構成されている。

【0036】図3に、ファブリペローエタロンフィルタの基本構造を示す。ファブリペローエタロンフィルタは、スペーサー層が高反射多層膜によって挟まれるようにして構成されている。この2つの高反射多層膜は、共振条件が入射光の入射角 $\theta$ 及びスペーサー層の厚さ $L$ で決定される共振器を構成する。入射光の波長が共振器の共振条件を満足するとき、入射光の透過率は最大となる。このフィルタでは、入射角 $\theta$ 及びスペーサ層の厚さ $L$ が決定されると、周期的な波長において透過率が最大となる。従って、スペーサ層の厚さ $L$ 等を調節してフィルタを形成することによって、フィルタの透過特性を所定の波長の間隔で周期的に変化させることができる。

【0037】図2の最上段に示すA1高濃度EDFAの増幅特性は、注目する帯域において周期性を有する。従って、フーリエ変換の原理によって、周期関数に実質的に分解することができる。よって、複数の周期関数を合成することによって、A1高濃度EDFAの増幅特性と逆の特性を形成することができる。

【0038】フィルタ20-1は、透過特性が基本波長の周期で変化するように構成されている。基本波長は、A1高濃度EDFAの増幅特性のピーク間(この場合は、ピーク1とピーク2)の波長差に基づいて決定される。フィルタ20-2は、透過特性が基本波長の $1/2$ の周期で変化するように構成されている。さらに、フィルタ20-3は、透過特性が基本波長の $1/3$ の周期で変化するように構成されている。これらの透過特性は、

図2の中段に示されている。周期波形の振幅が、フィルタの阻止量に相当する。

【0039】フィルタ20-1、20-2、20-3を直列に接続することによって、図2に示すように、A1高濃度EDFAの増幅特性と実質的に逆の特性が合成波形として形成される。そして、図2の最下段に示すように、この合成波形によって、A1高濃度EDFAの増幅特性は3つのピークを有する広帯域において等化できる。

【0040】以上に示したように、周期的なピークを有する増幅特性は、周期、位相、振幅（阻止量）の異なる透過特性をもつ複数の光フィルタを適切に合成することによって広帯域に等化することができる。なお、図1では、本発明に係わる利得等化器20は、EDFA10の後段に設けられている。しかし、本発明に係わる利得等化器は、EDFAの前段に挿入することも可能である。

【0041】図4に、A1濃度とEDFAの増幅特性との関係を示す。A1濃度が1Wt%以下の低濃度状態から徐々に高くしていくと、ピーク2で示される1555μm帯の利得帯域が短波長側に広がる。A1濃度が約4Wt%以上の高濃度状態になると1.545μm帯の利得帯域が隆起し、ピーク3が発生する。

【0042】図5に、A1低濃度（1Wt%以下）EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）を、図6に、A1高濃度（1Wt%以上）EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）を示す。図6に示すA1高濃度EDFAの利得特性は、図5に示すA1低濃度EDFAの利得特性に比べて、1.54μm帯域の利得の極小値が小さく、利得特性が比較的平坦である。しかし、A1高濃度EDFAの利得特性は、1.54μm帯と1.555\*30

\*μm帯との間に第3の利得ピーク有している。従って、A1高濃度EDFAは広帯域な伝送特性を実現できる可能性は有しているが、この光増幅器を多段中継した場合には信号帯域にリプルが発生する。図7は、20段のA1高濃度EDFAの波長多重光信号の伝送特性（計算値）を示す。この図に示される利得偏差は、本発明に係わる利得等化器によって抑圧可能である。

【0043】以下に、図5に示すA1低濃度EDFAの利得特性、及び図6に示すA1高濃度EDFAの利得特性の利得等化動作について詳細に説明する。A1低濃度EDFAの利得特性は、図5に示すように2つのピークを有している。この場合、本発明に係わる利得等化器は、基本周期及び基本周期/2の周期関数を有する2つのファブリペローエタロンフィルタで構成することができる。

【0044】図8に、波長周期が32nmと16nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の利得等化器（GEQ）の透過特性（一点鎖線で示す）及び等化結果（Total gain）を示す。また、図8には、動作を理解し易くするため、図5に示すA1低濃度EDFAのみの利得特性（EDFA gain）が併せて表示されている。この図において1533~1560nmの帯域における透過特性は、A1低濃度EDFAの利得特性の実質的に逆の特性に近似でき、利得等化器として利用できる。この時のファブリペローエタロンフィルタの透過率T(λ)の近似式は以下のように示される。

【0045】

【数1】

$$T(\lambda) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(1-R_1)^2}{(1-R_1)^2 + 4 \times R_1 \times \cos^2 \left[ \frac{2\pi(\lambda - \lambda_0)}{F_1 \times 2} + \phi_1 \times \pi \right]} \right\} + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(1-R_2)^2}{(1-R_2)^2 + 4 \times R_2 \times \sin^2 \left[ \frac{2\pi(\lambda - \lambda_0)}{F_2 \times 2} + \phi_2 \times \pi \right]} \right\}$$

【0046】λ<sub>0</sub> = 1533,

R<sub>1</sub> = 0.1, F<sub>1</sub> = 32, φ<sub>1</sub> = 0.0

R<sub>2</sub> = 0.1, F<sub>2</sub> = 16, φ<sub>2</sub> = 0.4

このように、A1低濃度EDFAの増幅特性EDFA gainは、利得等化器の透過特性によって等化される。この等化結果Total gainから、2種類（基本周期、基本周期/2）の周期的光フィルタを組み合わせることにより、A1低濃度EDFAの利得特性を約15nmの広い帯域において平坦化できる。

【0047】A1高濃度EDFAの利得特性は、図6に示すように3つのピークを有している。この場合、本発明に係わる利得等化器は、基本周期、基本周期/2、基

本周期/4の周期関数を有する3つのファブリペローエタロンフィルタで構成することができる。

【0048】図9に、波長周期が56nm、28nm、及び14nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の透過特性（一点鎖線で示す）及び等化結果（Total gain）を示す。また、図9には、動作を理解し易くするため、図6に示すA1高濃度EDFAの利得特性（EDFA gain）が併せて表示されている。この図において1533~1560nmの帯域における透過特性は、A1高濃度EDFAの利得特性の実質的に逆の特性に近似でき、利得等化器として利用できる。この時のファブリペローエタロンフィルタ



の透過率 $T(\lambda)$ の近似式は以下のように示される。

\*【数2】

【0049】

\*

$$T(\lambda) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(1-R_1)^2}{(1-R_1)^2 + 4 \times R_1 \times \cos^2 \left\{ \frac{2\pi(\lambda-\lambda_0)}{F_1 \times 2} + \phi_1 \times \pi \right\}} \right\} +$$

$$10 \log_{10} \left\{ \frac{(1-R_2)^2}{(1-R_2)^2 + 4 \times R_2 \times \sin^2 \left\{ \frac{2\pi(\lambda-\lambda_0)}{F_2 \times 2} + \phi_2 \times \pi \right\}} \right\} +$$

$$10 \log_{10} \left\{ \frac{(1-R_3)^2}{(1-R_3)^2 + 4 \times R_3 \times \cos^2 \left\{ \frac{2\pi(\lambda-\lambda_0)}{F_3 \times 2} + \phi_3 \times \pi \right\}} \right\}$$

【0050】 $\lambda_0 = 1.532$ ,

$R_1 = 0.040$ ,  $F_1 = 56$ ,  $\phi_1 = 0.0$

$R_2 = 0.025$ ,  $F_2 = 28$ ,  $\phi_2 = 0.6$

$R_3 = 0.045$ ,  $F_3 = 14$ ,  $\phi_3 = 0.0$

このように、A1高濃度EDFAの増幅特性EDFA gainは、利得等化器(GEQ)の透過特性によって等化される。この等化結果Total gainから、3種類(基本周期、基本周期/2、基本周期/4)の周期的光フィルタを組み合わせることにより、A1高濃度EDFAの利得特性を約30nmの広い帯域において平坦化できる。従来の利得等化器では、EDFAの利得特性の1つのピークに対して動作し、平坦化された帯域は10nm程度である。従って、本発明に係わる利得等化器は、従来の利得等化器に比べてより広い平坦化された利得帯域を有することができる。

【0051】図10は、A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第1の構成例を示す図である。この第1の構成例は、図1に示す構成例と実質的に同じである。同じ機能を有する要素には同じ参照番号を付している。図10において、実線は、光フィルタ20がEDFA10の前段に設けられた場合、点線は、光フィルタ20がEDFA10の後段に設けられた場合を示す。光フィルタ20は、図1に示す構成例と同様に、直列に接続された周期的光フィルタ20-1、20-2、20-3から構成される。

【0052】このように、周期、位相、振幅(阻止量)の異なる複数の光フィルタを縦列に接続することによって、複数のピークを有するEDFAの増幅特性を、広帯域に平坦化することができる。図11は、A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第2の構成例を示す図である。本構成例では、入力された光信号が3つの光信号に分割され、それぞれ実質的に同じ利得特性を有するA1高濃度EDFA10-1、10-2、10-3で増幅される。さらに、増幅された光信号は、それぞれ周期的光フィルタ20-1、

20-2、20-3で濾波されて、出力側において合成される。この場合、適切な合成を行うため、合成される光信号の位相が位相補償器30-1、30-2、30-3で調整される。光信号の合成は、光カプラを用いて容易に行なえる。

【0053】このように、周期、位相、振幅(阻止量)の異なる複数の光フィルタを並列に接続することによっても、複数の光フィルタの透過特性を合成することができる。従って、このように構成された利得等化器においても、複数のピークを有するEDFAの増幅特性を、広帯域に平坦化することができる。

【0054】なお、図10及び図11に示す光フィルタ20-1、20-2、20-3は、励起LD制御コン

GEQ  
制御

ローラ10によって制御可能であり、その周期、位相、振幅(阻止量)等のパラメータを調節できる。これらの調整は、図3のファブリペローエタロンフィルタの構造において、入射角を調整したり、スペーサ層の厚さLを機械的に調整することによって行うことができる。また、予めスペーサ層をその厚さが場所によって変化するように構成し、入射位置をスライドさせることによって上記の調整を行うことができる。経年変化によってEDFAの利得特性が変化した場合や、EDFAが故障した場合等に、それらのパラメータは調節される。

【0055】図12は、A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第3の構成例を示す図である。EDFAの励起状態を示す指標として、励起状態にあるエルビウム・イオン濃度と全エルビウム・イオン濃度との比であるインバージョンパラメータが知られている。また、EDFAでは、光信号が入力されない場合でも、自然的に光が放出され、これは一般的にASE(amplified spontaneous emission)と呼ばれる。

【0056】ここでは、インバージョンパラメータが0.6以下の場合を飽和状態、0.6以上の場合を非飽和状態と呼ぶことにする。今、EDF自体が有する増幅

特性の性能を議論すると、A1低濃度EDFAは飽和状態でも非飽和状態においても、信号帯域の定量的な指標であるASE3dB帯域幅はそれほど変わらず、約10nm程度である。一方、A1高濃度EDFAは、飽和状態に比べ非飽和動作の方が明らかにASE3dB帯域が広がる。

【0057】従って、利得偏差が少ない数10nmの広い増幅帯域が必要な場合には、非飽和領域で動作させられたA1高濃度EDFAを使用するのが効果的である。しかしながら、非飽和領域動作のA1高濃度EDFAが多段接続されると、1.53μm帯ASEが大きく成長し、大きなゲインチルトが発生する。従って、非飽和領域で動作するA1高濃度EDFAを使用する場合には、1.53μm帯のASEを除去する必要がある。

【0058】非飽和動作では、EDFAは1.53μm帯の光パワーを最も強く増幅させようとするが、この帯域の光パワーがもともと小さければ光SNRの劣化は小さくなる。図12に示す第3の構成例では、1.53μm帯域阻止フィルタ40が、光フィルタ20及び出力との間に設置されている。この1.53μm帯遮断フィルタは、利得等化のためだけでなく、むしろ次段の光増幅器での光SNRの劣化を抑圧する効果の方が大きい。

【0059】図13～図15に、本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例を示す。図13に示す光伝送システムの構成例では、縦続接続されているn個の光増幅器50-1～50-nの間に、異なる波長周期の透過特性を有する光フィルタ20-1、20-2、20-3が、適当な中継間隔において配置されている。本光伝送システムは、複数の光増幅器を中継した後の波長多重光信号の等化を異なる周期の光フィルタで一括して行うことができる。

【0060】図14に示す光伝送システムの構成例では、縦続接続されているn個の光増幅器50-1～50-nの間に、周期の異なる光フィルタが直接縦列接続された光フィルタ20-1、20-2、20-3で構成される利得等化器20#1～20#3が、適当な中継間隔において配置されている。本光伝送システムは、全伝送システムの途中で各チャネルの光SNRを等化する必要がある場合（例えば、途中でBU（Branching Unit）が置かれて伝送路が分岐、挿入される場合等）に有用である。

【0061】図15に示す光伝送システムの構成例では、縦続接続されているn個の光増幅器50-1～50-nの間に、それぞれが図11に示すように並列接続された光フィルタ20-1、20-2、20-3で構成される利得等化器60#1～60#3が、適当な中継間隔において配置されている。本光伝送システムは、複数の光増幅器を中継した後の波長多重光信号の等化を異なる周期の光フィルタで一括して行うことができる。

【0062】なお、図13、図14、図15の各利得等

化器の周期、位相、振幅（阻止量）は、端局からのコマンドによってシステム全体の光SNRが均等になるように調整される。これらの調整は、図3のファブリペローエタロンフィルタの構造において、入射角を調整したり、スペーサ層の厚さLを機械的に調整することによって行うことができる。また、予めスペーサ層をその厚さが場所によって変化するように構成し、入射位置をスライドさせることによって上記の調整を行うことができる。

10 【0063】以上、本発明の実施例により説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内で改良及び変形が可能であることは言うまでもない。

【0064】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば以下に示す効果を有する。請求項1乃至5のうちいずれか1項記載の利得等化器、及び請求項12又は13記載の光伝送システムにおいては、基本となる周期的光フィルタの透過特性は、光増幅器の利得ピーク間の波長差に基づいて定まる波長を基本周期として持ち、その他の複数の周期的光フィルタは、その基本周期の $1/2^n$ （nは自然数）の長さの周期を有する。それらの複数の周期的光フィルタの透過特性を合成することによって、光増幅器の利得特性と逆の特性を形成することができる。従って、この利得等化器によって、光増幅器の利得特性を等化でき、これにより、広帯域な信号伝送帯域を実現することができる。

20 【0065】特に、請求項5記載の利得等化器では、周期的光フィルタが図3に示されるようなファブリペローエタロンフィルタで構成されており、所望の波長周期の透過特性が実現可能である。請求項6記載の利得等化器及び請求項14記載の光伝送システムにおいては、複数の周期的光フィルタは、縦列状に配置されている。従って、簡易な構成によって、複数の利得ピークを有する光増幅器の利得特性を、広帯域に等化することができる。

40 【0066】請求項15記載の光伝送システムにおいては、複数の利得等化器が、伝送路に複数の中継器を通過した後に分散して縦列状に配置されている。従って、この場合には、1つの利得等化器が複数の光増幅器による利得偏差を等化する。請求項7又は8記載の利得等化器及び請求項16記載の光伝送システムにおいては、波長多重光信号は複数の波長多重光信号に分波され、それぞれが周期的光フィルタを通過した後再び結合される。このように、複数の周期的光フィルタを並列に接続することによっても、複数の周期的光フィルタの透過特性を合成することができる。従って、このように構成された利得等化器においても、複数の利得ピークを有する光増幅器の利得特性を、広帯域に等化することができる。

50 【0067】請求項9又は10記載の利得等化器においては、光増幅器の利得特性の利得ピークのうち少なくと

も1つが遮断光フィルタによって遮断される。この遮断光フィルタは、特定の帯域のASE（自然的に発生する雑音レベル）光が大きくなるシステムに対し有効であり、光SNRの劣化を抑圧できる。

【0068】請求項11記載の利得等化器においては、端局からのコマンドに基づいて周期的光フィルタの透過特性の周期、位相及び阻止量が調整される。従って、経年変化によって光増幅器の利得特性が変化した場合や、光増幅器が故障した場合等に、利得等化器の透過特性を適切に調節できる。

【0069】請求項17記載の光伝送システムにおいては、出力における波長多重光信号の各チャネルの光信号対雑音比が実質的に等しくなるように調整できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係わる原理に基づく利得等化器の構成例。

【図2】本発明に係わる利得等化器の原理を説明するための図。

【図3】ファブリペローエタロンフィルタの基本構造。

【図4】A1濃度とEDFAの増幅特性との関係。

【図5】A1低濃度EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）。

【図6】A1高濃度EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）。

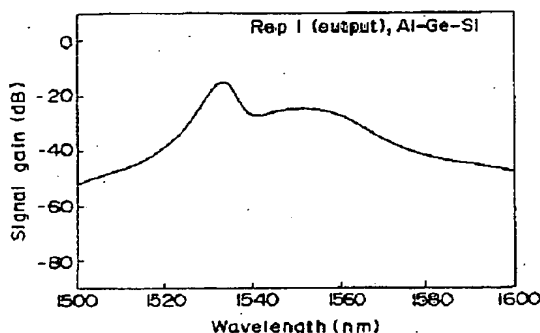
【図7】20段のA1高濃度EDFAの波長多重光信号の伝送特性（計算値）。

【図8】波長周期が32nmと16nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の利得等化器（GEQ）の透過特性及び等化結果（Total gain）。

【図9】波長周期が56nm、28nm、及び14nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の利得等化器（GEQ）の透過特性及び等化結果（T

【図5】

A1低濃度EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）



otal gain)。

【図10】A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第1の構成例を示す図。

【図11】A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第2の構成例を示す図。

【図12】A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第3の構成例を示す図。

【図13】本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例。

【図14】本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例。

【図15】本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例。

【図16】従来のEDFAを用いた中継器を複数中継した場合の、光スペクトル波形。（A）は、中継器を10段中継した場合、（B）は、中継器を60段中継した場合。

【符号の説明】

10 A1高濃度EDFA

12 励起用LD

14 光検出器

16 励起LD制御コントローラ

18 コマンド受信用光検出器

20 利得等化器

20-1、20-2、20-3 光フィルタ

20#1、20#2、20#3 利得等化器

30 30-1、30-2、30-3 位相補償器

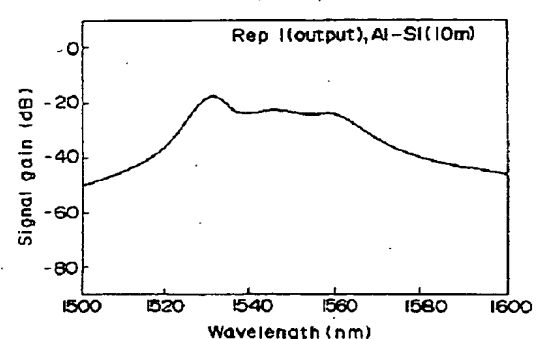
40 ノッチフィルタ

50-1～50-n 光増幅器

60#1、60#2、60#3 利得等化器

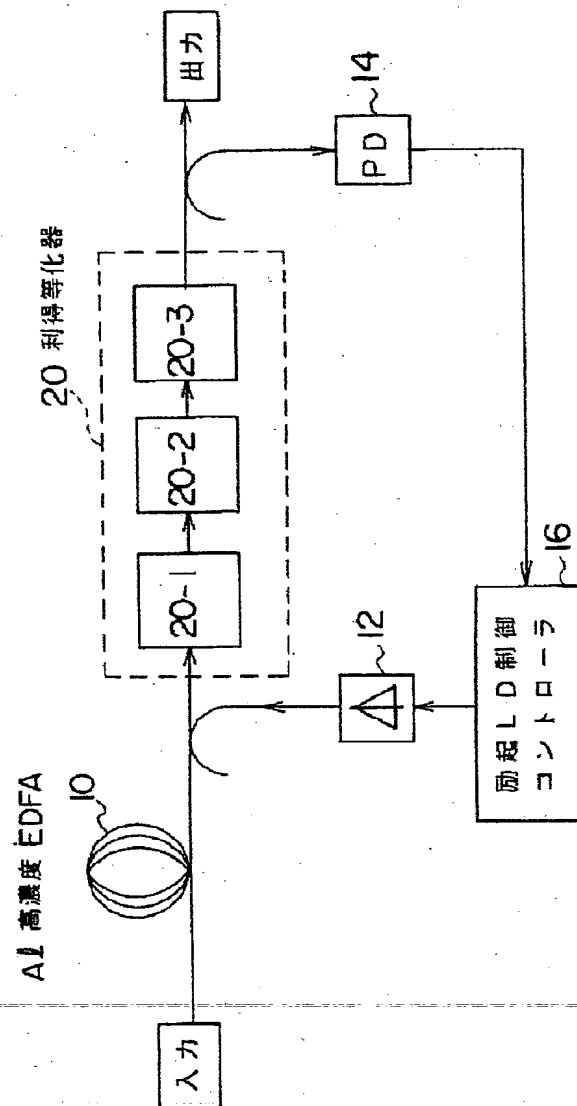
【図6】

A1高濃度EDFAの増幅特性（波長に対する利得特性）



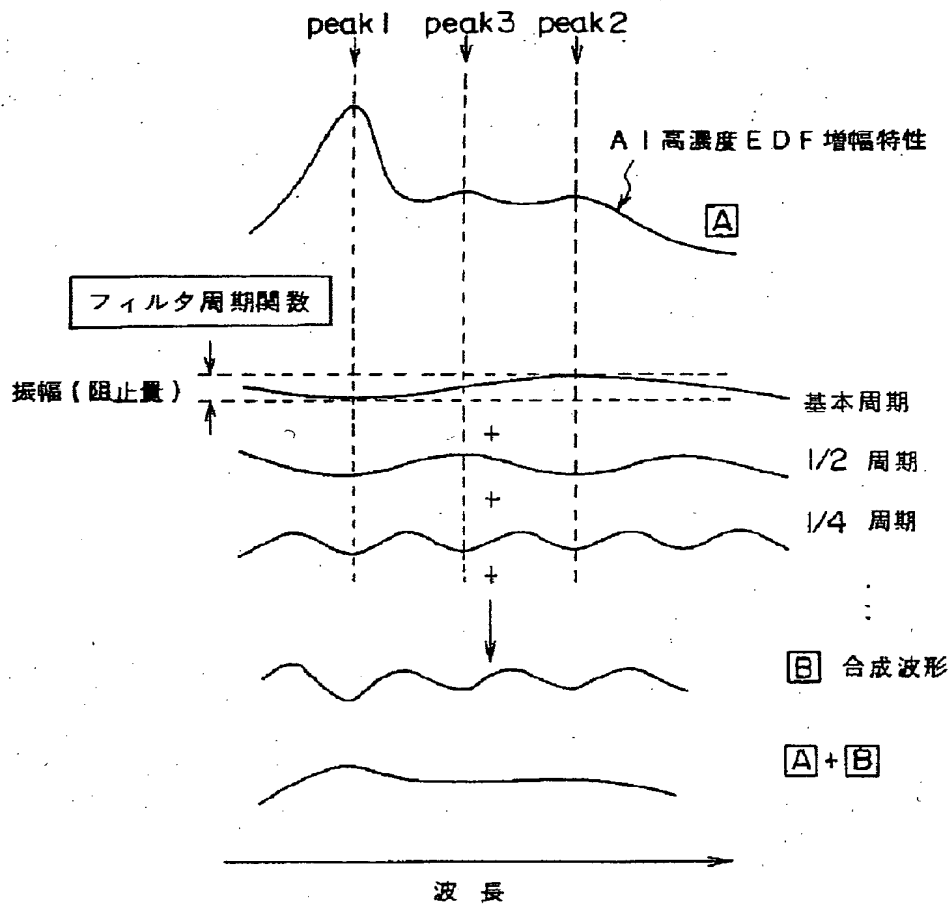
【図1】

本発明に係わる第1の原理に基づく利得等化器の構成例



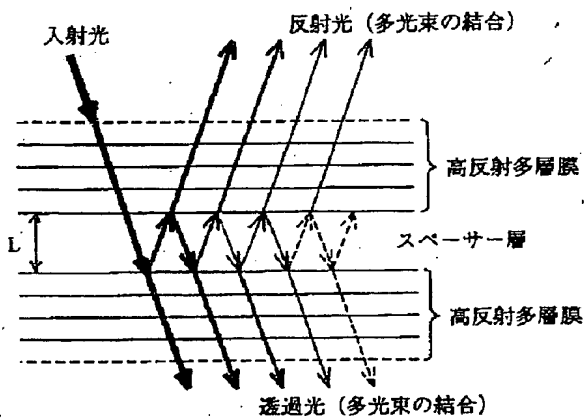
【図2】

本発明に係わる利得等化器の第1の原理を説明するための図



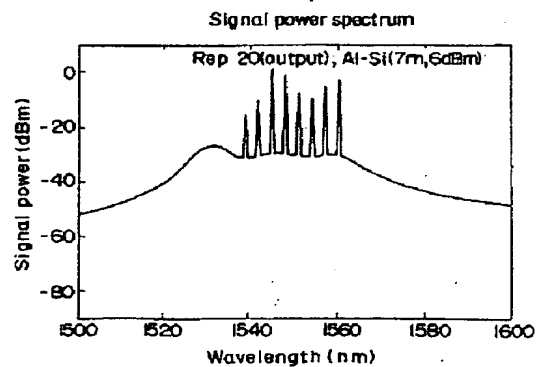
【図3】

ファブリペローエタロンフィルタの基本構造



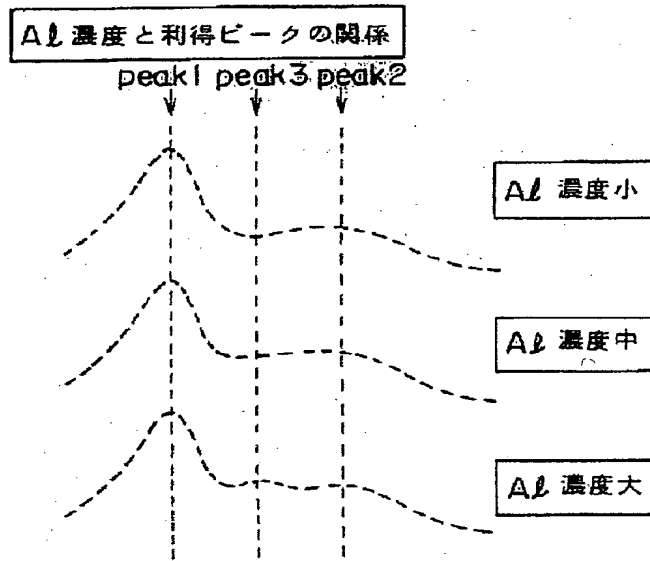
【図7】

20 段の A1 高濃度 EDF A の波長多重光信号の伝送特性 (計算値)



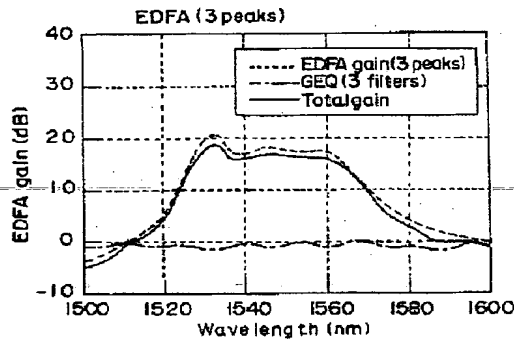
【図4】

## A1濃度とEDFAの増幅特性との関係



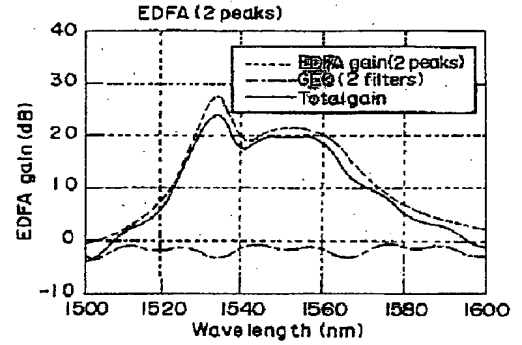
【図9】

波長周期が56 nm、28 nm、及び14 nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の利得等化器 (GEQ) の透過特性及び等化結果 (Total gain) の関係



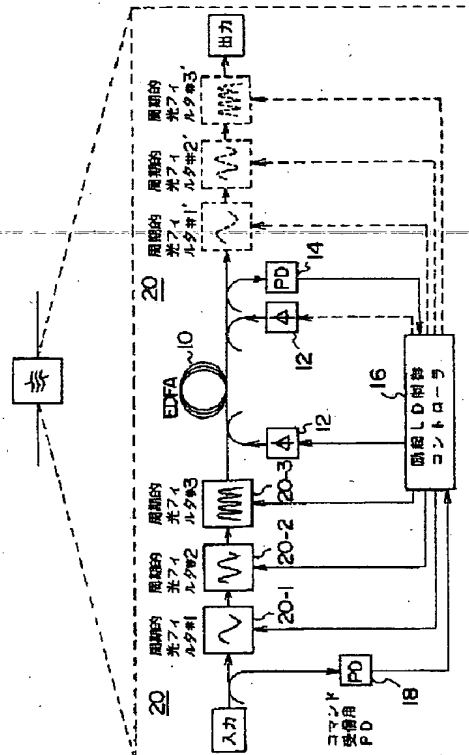
【図8】

波長周期が32 nmと1.6 nmのファブリペローエタロンフィルタを直列に接続した場合の利得等化器 (GEQ) の透過特性及び等化結果 (Total gain) の関係



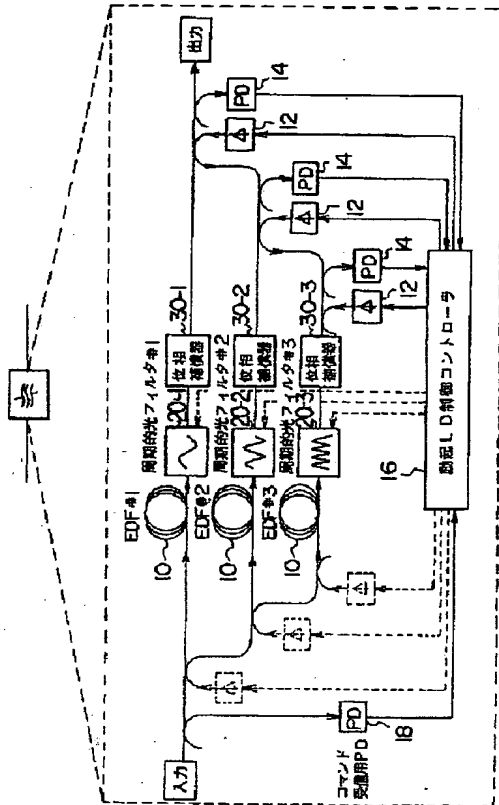
【図10】

A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係る利得等化器の第1の構成例を示す図



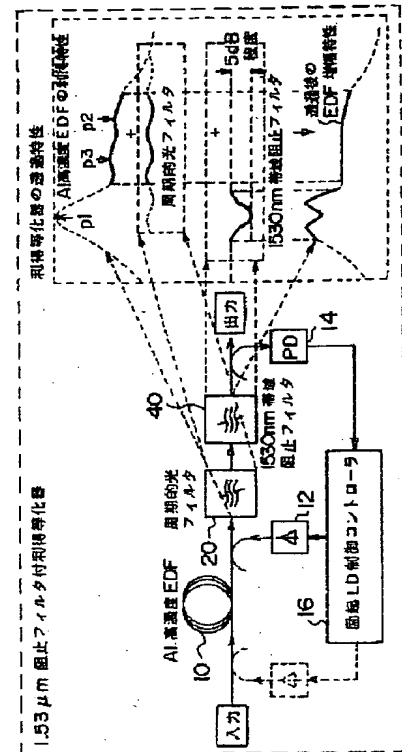
【図11】

A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第2の構成例を示す図



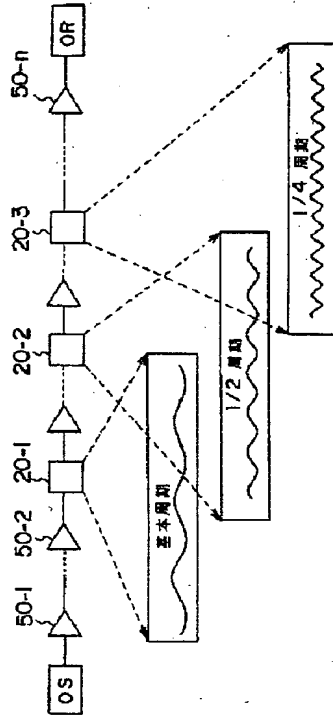
【図12】

A1高濃度EDFAの増幅特性を等化するための本発明に係わる利得等化器の第3の構成例を示す図



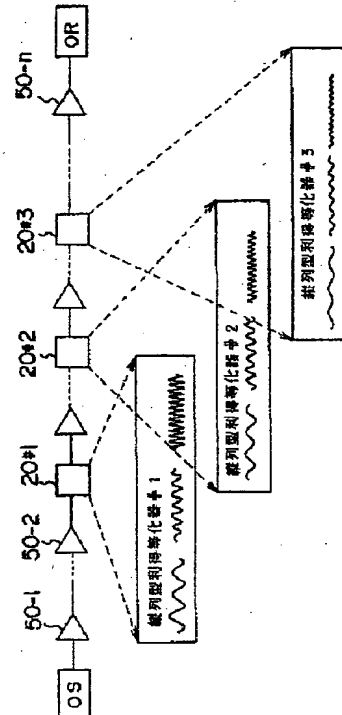
【図 13】

本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例



【図 14】

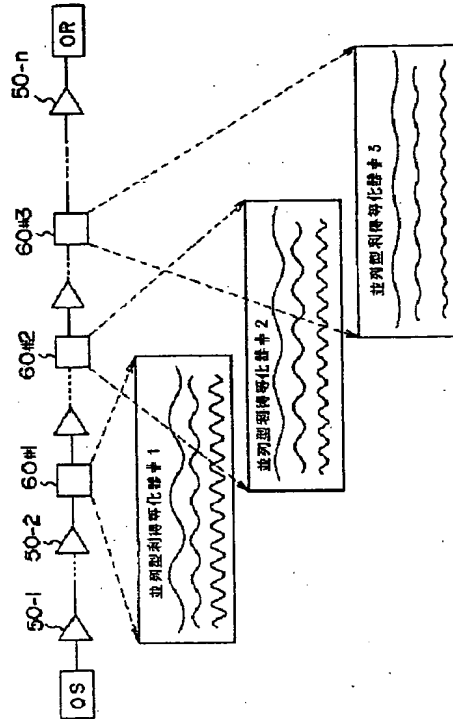
本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例





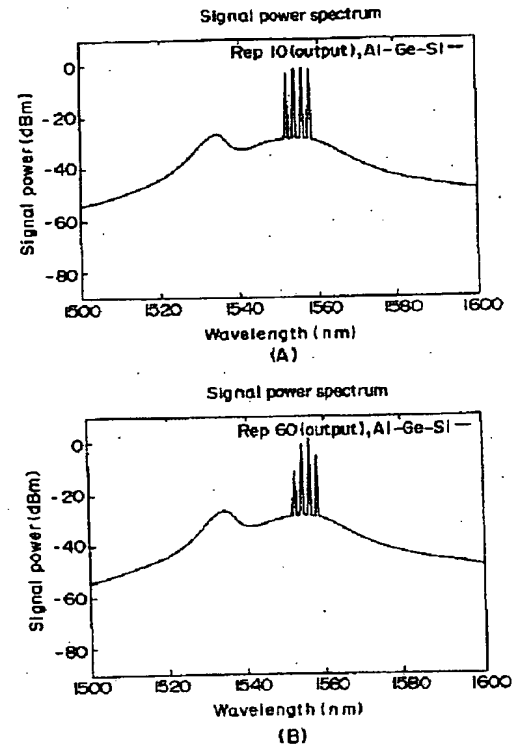
【図15】

本発明に係わる利得等化器が配置された光伝送システムの構成例



【図16】

従来のEDFAを用いた中継器を複数中継した場合の、光スペクトル波形。(A)は、中継器を10段中継した場合、(B)は、中継器を60段中継した場合





## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-289349

(43)Date of publication of application : 04.11.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/10  
G02B 5/28  
H01S 3/07  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21)Application number : 08-100910

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 23.04.1996

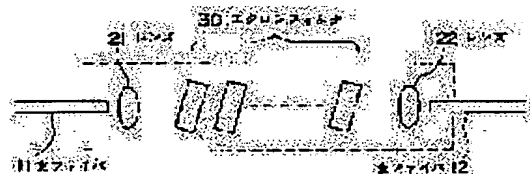
(72)Inventor : SHIBUYA TAKASHI

## (54) OPTICAL EQUALIZER, OPTICAL AMPLIFIER USING IT AND WAVELENGTH-MULTIPLE OPTICAL TRANSMITTER

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the compensation error of the gain-wavelength dependence of an optical amplifier and the polarization dependence of the transmittance by outputting optical signals of mutually different wavelengths to cascaded etalon filters having mutually different free space spectrum ranges.

SOLUTION: Optical fibers 11, 12 are optically coupled through a beam collimated by lenses 21, 22 between which N cascaded etalon fibers 30 having mutually different free space spectrum ranges are inserted. The max. and min. values of the loss and free space spectrum range of the N-th etalon filter are set by developing the gain-wavelength characteristic of an optical amplifier to which an optical equalizer is applied into a Fourier series. The etalon fibers 30 may use one having dielectric multilayer films or metal films having specified refractive indexes on both sides of a glass plate.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.04.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.07.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration] withdrawal

[Date of final disposal for application] 06.12.2001

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2000-12063

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 03.08.2000

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-289349

(43) 公開日 平成9年(1997)11月4日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S	3/10		H 0 1 S	3/10 Z
G 0 2 B	5/28		G 0 2 B	5/28
H 0 1 S	3/07		H 0 1 S	3/07
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B	9/00 E
	14/02			
審査請求 有		請求項の数 17	O L	(全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-100910

(22) 出願日 平成8年(1996)4月23日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 渋谷 隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

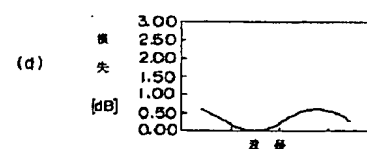
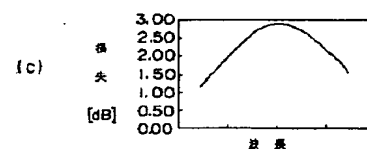
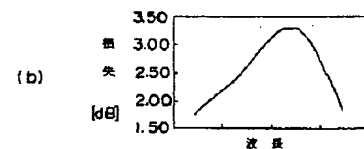
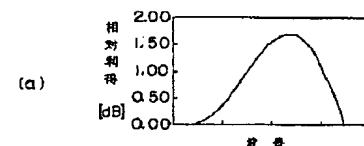
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 光イコライザおよびこれを用いた光増幅装置と波長多重光伝送装置

## (57) 【要約】

【課題】 光ファイバアンプの利得波長依存性を補償する光イコライザで、任意の利得波長依存性を補償し、かつ低損失偏光依存性の光イコライザを実現する。

【解決手段】 縦続に配置された複数のエタロンフィルタと、このエタロンフィルタに光を出力する光出力部と、エタロンフィルタを透過する光が入力される光入力部とを備え、複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有している。薄いガラス板の両面に半透過膜を施した、互いに周期と振幅の異なる複数のエタロン板が従属接続されている。特性の異なる複数のエタロン膜を組み合わせることで、低損失偏光依存性かつ任意の利得波長依存性補償可能な光イコライザが実現できる。このような光イコライザを光増幅器と組合せて光中継器として用いることにより、波長多重光伝送装置においても光信号の波長間の利得の相違によるレベル差が生じない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 縦続に配置された複数のエタロンフィルタと、

互いに異なる波長の複数の光信号を前記エタロンフィルタに出力する光出力手段と、  
前記エタロンフィルタを透過する光が入力される光入力手段とを備え、  
前記複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有していることを特徴とする光イコライザ。

【請求項 2】 前記エタロンフィルタは、  
光を透過させる基板の両面に光の一部を反射させる反射膜が形成された反射基板を含み、  
前記基板は、前記エタロンフィルタを透過する前記複数の光信号の損失差があらかじめ定められた特定の値になる板厚を有することを特徴とする請求項 1 記載の光イコライザ。

【請求項 3】 前記反射膜は、  
誘電体多層膜であることを特徴とする請求項 2 記載の光イコライザ。

【請求項 4】 前記反射膜は、  
金属膜であることを特徴とする請求項 2 記載の光イコライザ。

【請求項 5】 前記基板は、  
ガラス基板であることを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載の光イコライザ。

【請求項 6】 前記誘電体多層膜は、  
前記エタロンフィルタを透過する前記複数の光信号の損失差があらかじめ定められた特定の値になる膜厚を有することを特徴とする請求項 2 記載の光イコライザ。

【請求項 7】 互いに異なる波長の複数の光信号を増幅して増幅光信号を出力する第 1 の光増幅器と、光イコライザを備え、  
前記光イコライザは、

縦続に配置された複数のエタロンフィルタと、  
前記エタロンフィルタに前記光信号を出力する光出力手段と、  
前記エタロンフィルタを透過する前記光信号が入力される光入力手段とを備え、  
前記複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有していることを特徴とする光増幅装置。

【請求項 8】 前記エタロンフィルタは、  
前記各波長の前記増幅光信号のレベル差を相殺する透過損失を有することを特徴とする請求項 7 記載の光増幅装置。

【請求項 9】 前記光イコライザは、  
前記光増幅器の後段または前段に配置されていることを特徴とする請求項 8 記載の光増幅装置。

【請求項 10】 前記光増幅装置はさらに、

前記光信号を増幅して出力する第 2 の光増幅器を備え、  
前記光イコライザは、前記第 1 の光増幅器と前記第 2 の光増幅器の間に配置されていることを特徴とする請求項 7 記載の光増幅装置。

【請求項 11】 前記第 1 の光増幅器は、  
光ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 7 記載の光増幅装置。

【請求項 12】 前記第 1 の光増幅器は、  
光半導体増幅器であることを特徴とする請求項 7 に記載の光増幅装置。

【請求項 13】 互いに異なる複数の波長の光信号を送出する光送信器と、前記複数の光信号を合波して合波光信号を光伝送路の一端に出力する光結合器とを含む光送信装置と、  
前記光伝送路の他端から出力される合波光信号を前記波長毎に分波して分波光信号を送出する光分波器と、  
前記光分波器に接続され、前記分波光信号をそれぞれ電気信号に変換する光受信器とを含む光受信装置と、  
前記光送信装置と前記受信装置の間に配置され、前記光伝送路から入力された前記合波光信号を増幅して前記光伝送路に出力する、少なくとも一つの光増幅中継装置とを備え、

前記光増幅中継装置は、  
入力された光信号を増幅して増幅光信号を出力する第 1 の光増幅器と、  
縦続に配置された複数のエタロンフィルタと該エタロンフィルタに光を出力する光出力手段と前記エタロンフィルタを透過する光が入力される光入力手段とを有し、前記複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有する光イコライザとを備えていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項 14】 前記光イコライザは、  
前記光増幅器の後段または前段に配置されていることを特徴とする請求項 13 記載の光増幅装置。

【請求項 15】 前記光増幅装置はさらに、  
入力された光信号を増幅して増幅光信号を出力する第 2 の光増幅器と、  
前記光イコライザは、前記第 1 の光増幅器と前記第 2 の光増幅器の間に配置されていることを特徴とする請求項 13 記載の光増幅装置。

【請求項 16】 前記光増幅器は、  
光ファイバ増幅器であることを特徴とする請求項 13 に記載の光増幅装置。

【請求項 17】 前記光増幅器は、  
光半導体増幅器であることを特徴とする請求項 13 に記載の光増幅装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光イコライザとこれをを用いた光増幅装置及び波長多重光伝送装置に関し、

特に光増幅器の利得波長依存特性を平坦化する光イコライザとこれを適用した光増幅装置に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】光通信システムの大容量化を実現するための技術のひとつに、光波長多重伝送方式がある。これは1本の光ファイバに互いに波長が異なる複数の光信号を多重化した上で伝送する方式である。

【0003】一方、近年急速に実現化された、希土類ドープ光ファイバを増幅媒体とする光ファイバ増幅器は、異なる波長の信号を一括して増幅することが可能である。この光ファイバ増幅器を光波長多重伝送方式に適用すれば、大容量長距離伝送システムが実現できる。

【0004】ところで、一般に光ファイバ増幅器および光半導体増幅器のどちらについてもその利得は波長により異なる。したがって、波長多重された複数の信号光を一括増幅すると、光増幅器の光出力レベルは、波長によって異なる。しかも光増幅器を多段に接続した場合は、この光出力レベル差が累積する。

【0005】受信器側において波長分岐後に受信する際、光出力レベルが波長により異なるため、各波長間のクロストーク劣化や、受信器の受光レベルの設定上の問題が生じる。

【0006】そこで、光増幅器の利得波長依存性を補償する光イコライザが必要になる。

【0007】従来、光ファイバ増幅器の利得波長依存性を補償する方法のひとつに光ファイバ増幅器にその利得波長依存性を平坦化するための等化光フィルタを挿入する方法がある。このような手法は、例えば、特願平01-177985号に記載されている。また、別の方法として、特願平05-109975号に記載されているような光ファイバカプラを備える方法がある。

【0008】また、等化光フィルタのひとつとして、グレーティング型（例えば、M. Tachibana, R. I. Laming, P. R. Morkel and D. N. Payne "Gain-shaped Erbium-doped fibre amplifier with broad spectral bandwidth", Technical Digest on Optical Amplifiers and Their Applications, pp. 44-47, 1990.）、マッハツエンダ型（例えば、特願平2-270766号）が提案されている。

【0009】さらに、マッハツエンダ型の光イコライザの改善型として、透過率の波長依存性の変動周期が互いに異なるマッハツエンダ型光フィルタを多段に従属接続したものが提案されている（例えば、特願平5-60047号）。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来例には、それぞれ以下に示す欠点がある。

【0011】すなわち、光ファイバカプラは、2本の光ファイバを溶融・延伸して作製され、光ファイバ間のエバネセント結合を利用している。この種のカプラでは、損失の波長依存性の変動周期を短くする場合、原理上、融着結合部を長く作る必要があり、融着結合部の長さとともに、損失波長特性の製造再現性は低下する。

【0012】現在、光ファイバ増幅器で用いられている波長1550nm帯において、光ファイバ増幅器の利得対波長特性を補償しようとした場合には、光ファイバカプラの損失対波長特性曲線の周期を約100nm以下まで短くする必要があり、このような特性を安定的に作製するには技術的困難が伴う。

【0013】一般に光増幅器の利得対波長特性を光フィルタによって補償しようとした場合、光フィルタの透過波長特性を双峰性としなければならない場合が多い。このような双峰性の透過波長特性を得る場合には、2つの透過ピークの波長間隔と透過率を厳密に再現性良く作製する必要が生じる。誘電体多層膜による干渉膜フィルタを用いた例では、このような双峰性の透過特性を厳密かつ安定的に製造するのは極めて困難である。

【0014】また、グレーティング（ファイバ型グレーティング、あるいは、ガラス基板上に設けられたグレーティング）を用いた例では、その損失の波長依存性は特定の波長で急峻なピークを有しており、光増幅器の利得波長曲線とのずれが大きいため、これを利得波長依存性の補償に使用する場合には、原理上、補償誤差が大きくなるという欠点がある。

【0015】他の従来例として、マッハツエンダ型光フィルタがある。これは、石英導波路基板上にマッハツエンダ型導波路が形成され、それぞれの位相調整には熱光学効果が用いられている。このマッハツエンダ型光フィルタでは、電極に印加される電圧を調整して熱光学効果による屈折率変化を生じさせ、位相を変化させて透過率波長依存性を波長方向に調整している。マッハツエンダ型光フィルタは、例えば特願平5-60047号に詳細に記載されている。

【0016】しかしながら、マッハツエンダ型光フィルタの場合、導波路上に設けられた電極の発熱により透過光の位相調整を行うため、導波路内部の歪みが発生しやすく、これが透過率の偏光依存性を発生させるという欠点がある。

【0017】本発明の目的は、上述した従来例の種々の問題点を鑑み、光増幅器の利得波長依存性の補償誤差が少なく、透過率の偏光依存性が小さく、かつ安定に製造し得る光イコライザを実現することにある。

#### 【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の光イコライザは、従来の上記欠点を除去するために、縦続に配置された複数のエタロンフィルタと、このエタロンフィルタに光を出力する光出力部と、エタロンフィルタを透過する

10

20

30

40

50

光が入力される光入力部とを備え、複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有していることを特徴としている。

【0019】そして、エタロンフィルタは、光を透過させるガラス等の基板の両面に光の一部を反射させる反射膜が形成された反射基板を含んでおり、この反射膜を誘電体多層膜あるいは金属膜で構成される。ここで、この基板は、エタロンフィルタを透過する複数の光信号の損失差があらかじめ定められた特定の値になる板厚を有している。また、誘電体多層膜の膜厚を、エタロンフィルタを透過する前記複数の光信号の損失差があらかじめ定められた特定の値になるように設定するによっても各波長間の損失差を補償することができる。

【0020】本発明の光増幅装置は、基本的には上記特徴を有する光イコライザを適用したもので、入力された光信号を増幅して増幅光信号を出力する光増幅器と、上記光イコライザを備えている。ここで、光イコライザは、光増幅器の後段あるいは前段に配置されている。また、2つの光増幅器を用いて、光イコライザをその間に配置することも可能である。

【0021】光増幅器は、光ファイバ増幅器であっても、光半導体増幅器であっても適用可能である。

【0022】さらに、本発明の波長多重光伝送装置は、上記特徴を有する光増幅装置を中継器に用いたものであり、互いに異なる複数の波長の光信号を送出する光送信器と、複数の光信号を合波して合波光信号を光伝送路の一端に出力する光結合器とを含む光送信装置と、光伝送路の他端から出力される合波光信号を波長毎に分波して分波光信号を送出する光分波器と、光分波器に接続され分波光信号をそれぞれ電気信号に変換する光受信器とを

$$T = 1 - 2 \cdot r_1 \cdot r_2 (1 - \cos \delta) \quad (1)$$

で表される。ここで、

$$\delta = 4\pi n d \cdot \cos \theta / \lambda_0 \cdot (1 - (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0) \quad (2)$$

$\lambda$  : 光の波長

$\lambda_0$  : 透過率が極大になる波長 ( $= 2nd \cdot \cos \theta$  を満足する波長)

$\theta$  : エタロンフィルタへのビーム入射角

$d$  : 半透過膜の間隔

である。

【0028】一方、信号光波長に対する光増幅器の利得曲線は、波長に対するフーリエ級数に展開できる。したがって、利得曲線のフーリエ展開項と同じ振幅および周期の正弦波状損失特性を有するフィルタを組み合わせれば、光増幅器の利得曲線を完全に平坦化することができる。

【0029】本発明の光イコライザでは、(1)式で示される正弦波状の損失波長特性を有するエタロンフィルタを用いるため、光増幅器の利得対波長曲線を、原理上、完全に補償し平坦化することができる。

【0030】上述した本発明の光イコライザを光増幅器

\*含む光受信装置とから構成されている。そして、光送信装置と受信装置の間には、光伝送路から入力された合波光信号を増幅して光伝送路に出力する、少なくとも一つの光増幅中継装置が配置されている。

【0023】このような構成において、光増幅中継装置は、入力された光信号を増幅して増幅光信号を出力する光増幅器と、縦続に配置された複数のエタロンフィルタと該エタロンフィルタに光を出力する光出力部とエタロンフィルタを透過する光が入力される光入力部とを有し、複数のエタロンフィルタは互いに異なるフリースペクトラム領域を有する光イコライザとを備えていることを特徴としている。

【0024】ここで、光イコライザは、光増幅器の後段または前段に配置されている。光増幅器は、光ファイバ増幅器であっても光半導体増幅器であっても適用可能である。

【0025】

【発明の実施の形態】まず最初に、上記特徴を有する光イコライザの基本原理解について説明する。

【0026】本発明の光イコライザは、光軸を一致して配置した2つの光ファイバコリメータの光路間に、フリースペクトラム領域（以下「FSR」という。）が互いに異なる少なくとも2つ以上のエタロンフィルタが縦続に配置されている。

【0027】エタロンフィルタは、平行に配置した2つの半透過膜間の繰り返し反射による干渉の原理を応用したものである。空气中に置かれた屈折率  $n$  の媒質の両面に、それぞれ反射率  $r_1$  および  $r_2$  の半透過膜を施した場合、これらの半透過膜間の繰り返し反射による干渉の透過率 ( $T$ ) は、近似的に

に適用した場合の波長間の利得の平坦化の原理についてを、図面を参照してさらに詳細に説明する。図1は、光イコライザの利得波長依存性補償動作の原理説明図である。

【0031】図1(a)は、光ファイバ増幅器の利得の波長依存性の一例を示す曲線（利得波長曲線）である。このような利得の波長依存性もエタロンフィルタにより平坦化することができる。すなわち、本発明の図1

(a)の利得波長曲線を2次のフーリエ展開項にまで展開し、これらのフーリエ展開項とそれぞれ同じ振幅および周期を持つ複数のエタロンフィルタを用いる。

【0032】例えば、上記利得波長曲線に対しては、図1(c)および(d)のような損失波長特性を有するエタロンフィルタを用いる。この損失波長特性の振幅および周期は、上述したように、エタロンフィルタの光路長および反射率を適宜設定することにより得られる。この2つのエタロンフィルタを組み合わせると、図1(b)



の損失波長特性を持った光イコライザが得られる。

【0033】図1(b)の損失波長特性は、利得波長曲線のフーリエ展開項の重ね合わせであるため、図1

(a)と本質的に同等の曲線となっている。したがって、図1(b)の損失波長特性を有する光イコライザを用いれば、図1(a)の利得波長曲線を平坦化することができる。

【0034】なお、上記エタロンフィルタは、透過波長特性を光の入射角度 $\theta$ で調整できるため、光イコライザ製造時に損失波長特性を微調できるという利点を有している。

【0035】さらに、エタロンフィルタの損失の偏光依存性は、光の入射角 $\theta$ をゼロに近づけることにより簡単に解消することができるという利点も有している。

【0036】次に本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0037】図2は、本発明の光イコライザの実施例の構成を示す図である。

【0038】光ファイバ11および12は、レンズ21および22により、コリメートビームによって光学的に結合されている。レンズ21および22の間には、互いにFSRの異なるN個のエタロンフィルタ30が挿入されている。N番目のエタロンフィルタの損失最大値、損失最小値およびFSRは、本発明の光イコライザを適用する光増幅器の利得波長特性をフーリエ級数展開して設定される。なお、エタロンフィルタとしては、ガラス板の両面に特定反射率を有する誘電体多層膜あるいは金属膜を形成したもの、ガラス板上に誘電体膜を蒸着等により所定の厚さに形成したもの等を使用することができる。

【0039】図3および図4は、本発明による光イコライザを光増幅器に使用する場合の実施例の構成を示す図である。

【0040】光ファイバ増幅器あるいは光半導体増幅器からなる光増幅器40の出力端あるいは入力端に、図2に示した光イコライザ50が接続されている。光増幅器40の利得の波長依存性に起因して、増幅された各波長の増幅光信号の出力レベルに差が生じても、これを相殺するようにあらかじめ光イコライザの各波長に対する挿入損失を設定しておけば、レベル差を補償してレベルを平坦化することができる。このような機能を有する本発明の光イコライザは、光増幅器40の前段に配置してもよいし、また後段に配置してもよい。また、光増幅器40を2つ用いて、光イコライザを2つの光増幅器の間に配置してもよい。

【0041】さらに、本発明の光イコライザは、光増幅器40の利得の波長依存性によるレベル差のみならず、光伝送路により生じた各波長の光信号間のレベル差をも解消することができる。

【0042】次に、本発明の光イコライザを、光増幅器

を有する中継器からなる波長多重光伝送システムに適用した場合について説明する。

【0043】図5は、本発明による光イコライザを含む光増幅器を、波長多重光伝送システムに適用する場合の実施例の構成を示している。互いに波長の異なる複数の光送信器60の出力は、光カプラ71により1本の光ファイバに結合されて、光伝送路80へ出力される。光伝送路80には少なくとも1個の光増幅器90が挿入されており、光増幅器90の内部には、図2に示した光イコライザ50が使用されている。光伝送路80の出力端には、波長多重信号を波長毎に分離するための光カプラ72が接続されており、光カプラ72で分離された光信号は、複数の光受信器100により受信される。

【0044】

【発明の効果】本発明の光イコライザは、縦続に配置された複数のエタロンフィルタと、このエタロンフィルタに光を出力する光出力部と、エタロンフィルタを透過する光が入力される光入力部とを備え、複数のエタロンフィルタは、互いに異なるフリースペクトラム領域を有している。このような構成の採用により、光増幅器の利得波長曲線をほぼ完全に平坦化することができる。

【0045】これは、すでに詳細に説明したように、原理上、利得波長曲線のフーリエ展開項を正弦波状の損失波長特性を有する複数のフィルタにより完全に補償できること、およびエタロンフィルタは原理的に正弦波状の損失波長特性を有すること、から理解される。

【0046】また、本発明の光イコライザは、製造時にエタロンフィルタへの光の入射角度を調整することにより損失波長特性を微調できるため、安定的に一定の特性を有する光イコライザを製造できるという利点もある。

【0047】これは、エタロンフィルタの損失波長特性を示す原理式において、損失波長特性が光の入射角 $\theta$ の関数になっていることから理解される。

【0048】さらに、エタロンフィルタの光路長を適切に選んで作製することにより、エタロンフィルタへの光の入射角度を0度付近にまで近づけて、損失の偏光依存性を低減することもできる。これは、エタロンフィルタの損失波長特性の原理式において、損失波長特性が光路長 $d$ の関数になっていることから理解される。

【0049】このような特徴を有する本発明の光イコライザを光増幅器と組合せて光中継器として用いることにより、波長多重光伝送装置においても光信号の波長間の利得の相違によるレベル差の発生を抑制し、安定した波長多重光伝送が実現できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光イコライザの利得波長依存性補償動作の原理説明図である。

【図2】本発明の光イコライザの一実施例を示す図である。

【図3】本発明の光イコライザを適用した光増幅器の第

1の実施例の構成を示す図である。

【図4】本発明の光イコライザを適用した光増幅器の第2の実施例の構成を示す図である。

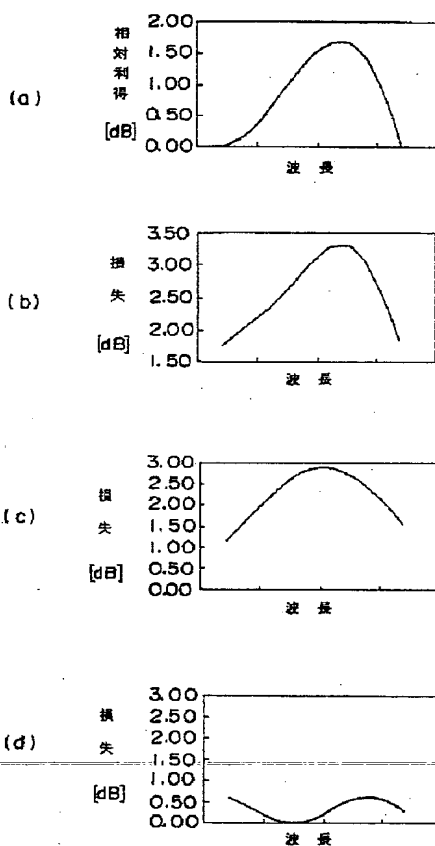
【図5】本発明の光イコライザを備える光増幅器を適用した波長多重光伝送装置の一実施例の構成を示す図である。

【符号の説明】

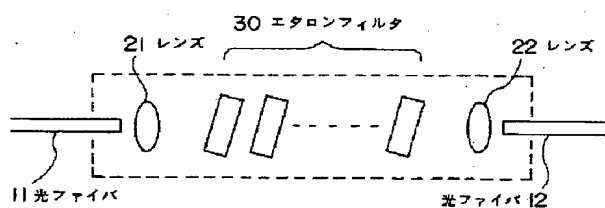
11 光ファイバ  
12 光ファイバ  
21 レンズ

22 レンズ  
30 エタロンフィルタ  
40 光増幅部  
50 光イコライザ  
60 光送信器  
71 光カプラ  
72 波長分離カプラ  
80 光伝送路  
90 光増幅器  
100 光受信器

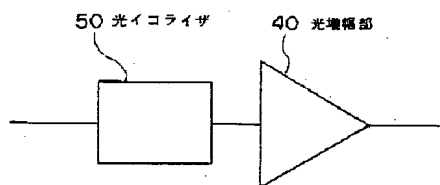
【図1】



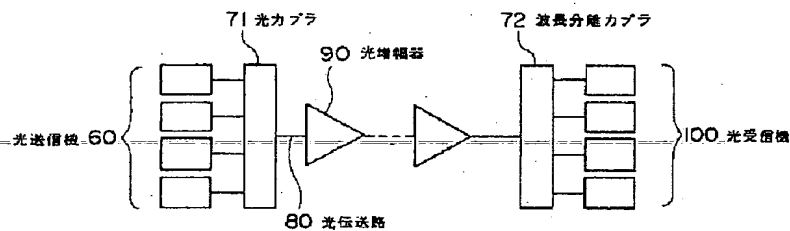
【図2】



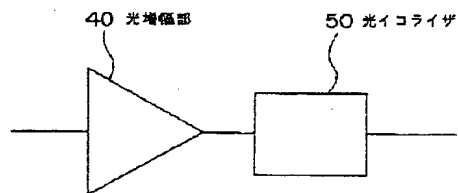
【図4】



【図5】



【図3】



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-199880

(43)Date of publication of application : 18.07.2000

(51)Int.Cl.

G02F 1/01  
H04B 10/02  
H04B 10/18  
H04B 10/17  
H04B 10/16

(21)Application number : 11-162032

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 09.06.1999

(72)Inventor : MATSUDA TOSHIYA  
MURAKAMI MAKOTO  
IMAI TAKAMASA

(30)Priority

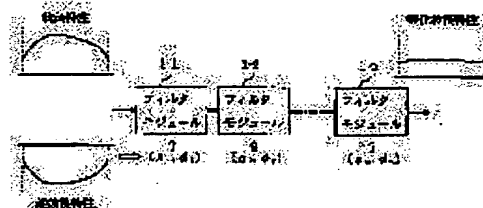
Priority number : 10315144 Priority date : 05.11.1998 Priority country : JP

## (54) WAVELENGTH EQUALIZER

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make it possible to efficiently design an optical equalization filter corresponding to a given wavelength characteristic and to embody an always flat wavelength characteristic by serially connecting a plurality of filter modules which respectively approximate the respective terms obtained by subjecting the reverse characteristics of wavelength characteristics having a prescribed wavelength region inclusive of a transmission band as a basic period to Fourier series development, thereby constituting the wavelength equalizer.

**SOLUTION:** This wavelength equalizer is constituted by serially connecting plural  $n$  pieces of the filter modules 1-1 to 1- $n$  which respectively approximate the respective terms obtained by subjecting the reverse characteristics (reverse wavelength characteristic) of the wavelength characteristics having the prescribed wavelength region inclusive of the transmission band as the basic period to the Fourier series development. When the wavelength characteristic  $G(\lambda)$ [dB] of a certain section of an optical amplifier relay transmission path is given, the reverse wavelength characteristic  $-G(\lambda)$  thereof is expressed by equation by the Fourier series development. In the equation,  $\Delta\lambda$  is an equation band and  $n$  is a positive integer. The filter characteristics approximating the respective terms of the equation are set at the respective filter modules 1-1 to 1- $n$ .



$$-G(\lambda) = a_0 + a_1 \cos 2\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + a_2 \cos 4\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \dots + a_n \cos 2\pi n \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \dots$$

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2000-199880

(P 2000-199880A)

(43) 公開日 平成12年7月18日 (2000. 7. 18)

(51) Int. Cl. 7

識別記号

FI

テーマコード (参考)

G 0 2 F 1/01

G 0 2 F 1/01

F

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

B

10/18

M

10/17

J

審査請求 未請求 請求項の数 10

OL

(全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-162032

(71) 出願人 000004226

(22) 出願日 平成11年6月9日 (1999. 6. 9)

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(31) 優先権主張番号 特願平10-315144

(72) 発明者 松田 俊哉

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

(32) 優先日 平成10年11月5日 (1998. 11. 5)

電信電話株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(72) 発明者 村上 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 今井 崇雅

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

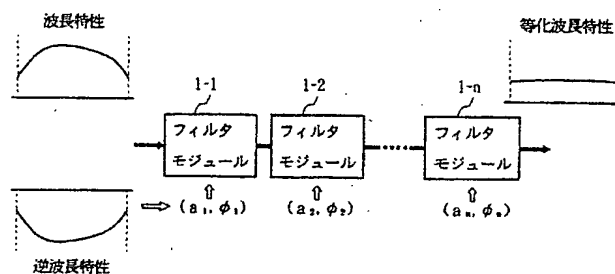
(54) 【発明の名称】 波長等化装置

(57) 【要約】

【課題】 与えられた波長特性に対応する光等化フィルタを効率よく設計することができ、さらに波長特性の変化にも追従して常に平坦な波長特性を実現する。

【解決手段】 伝送帯域を含む所定の波長域を基本周期とする波長特性の逆特性 (逆波長特性) をフーリエ級数展開した各項をそれぞれ近似する複数  $n$  個のフィルタモジュールを直列に接続する。また、光増幅中継伝送路に所定の間隔で配置される波長等化装置の入力または出力の波長特性を測定する波長特性測定手段と、波長特性測定手段で測定された波長特性に高速フーリエ変換を施し、波長等化装置の透過率および中心波長を決定する解析手段と、解析手段で得られたデータに従って波長等化装置の各フィルタモジュールの波長特性を制御する制御手段とを備える。

本発明の波長等化装置の基本構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ伝送路と光増幅中継器を接続した光増幅中継伝送路を介して、波長多重光信号を送信装置から受信装置へ伝送する波長多重光伝送システムの波長特性の偏差を補償する波長等化装置において、伝送帯域を含む所定の波長域を基本周期とする前記波長特性の逆特性をフーリエ級数展開した各項をそれぞれ近似する複数  $n$  個のフィルタモジュールを直列に接続した構成であることを特徴とする波長等化装置。

【請求項 2】 前記フィルタモジュールは、1つのマッハツェンダ型フィルタ、または複数  $N$  個のマッハツェンダ型フィルタを直列に接続した構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長等化装置。

【請求項 3】 前記フィルタモジュールは、1つのファブリペロ型フィルタ、または複数  $N$  個のファブリペロ型フィルタを直列に接続した構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長等化装置。

【請求項 4】 前記フィルタモジュールは、1つのマッハツェンダ型フィルタと1つのファブリペロ型フィルタを直列に接続した構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長等化装置。

【請求項 5】 前記フィルタモジュールは、1つの回折格子、または複数  $N$  個の回折格子を直列に接続した構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長等化装置。

【請求項 6】 前記光増幅中継伝送路に所定の間隔で配置される前記波長等化装置の入力または出力の波長特性を測定する波長特性測定手段と、前記波長特性測定手段で測定された波長特性に高速フーリエ変換を施し、前記波長等化装置の透過率および中心波長を決定する解析手段と、前記解析手段で得られたデータに従って前記波長等化装置の各フィルタモジュールの波長特性を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載の波長等化装置。

【請求項 7】 前記 1 つの波長特性測定手段、解析手段、制御手段により、入力または出力の波長特性を測定した波長等化装置およびその前後に配置される所定数の波長等化装置の各フィルタモジュールの波長特性を一括制御する構成であることを特徴とする請求項 6 に記載の波長等化装置。

【請求項 8】 前記フィルタモジュールの波長特性の制御は、マッハツェンダ型フィルタの光路中に屈折率が可変する屈折率変移媒質を挿入し、前記制御手段の制御により前記屈折率変移媒質の屈折率を可変させる構成であることを特徴とする請求項 6 または請求項 7 に記載の波長等化装置。

【請求項 9】 前記フィルタモジュールの波長特性の制御は、ファブリペロ型フィルタの光路中に利得を制御できる増幅媒体を挿入し、前記制御手段の制御により前記

増幅媒体の利得を可変させる構成であることを特徴とする請求項 6 または請求項 7 に記載の波長等化装置。

【請求項 10】 前記フィルタモジュールの波長特性の制御は、利得を制御できる増幅機能を備えた回折格子を用い、前記制御手段の制御により前記増幅機能の利得を可変させる構成であることを特徴とする請求項 6 または請求項 7 に記載の波長等化装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ伝送路および光増幅中継器を接続した光増幅中継伝送路を介して波長多重光信号を伝送する波長多重光伝送システムにおいて、光増幅中継器の利得特性等に起因する波長特性の偏差を補償する波長等化装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 波長多重光伝送システムには、光増幅中継器の利得特性等に起因する波長特性の偏差がある。この波長特性の偏差は、信号チャネル間のレベル差を生じさせ、特定の信号チャネルでレベルの低下を引き起こす。

【0003】 従来、この信号チャネル間のレベル差を補償するために、光増幅中継器の利得特性を平坦にする方法や、波長特性を補償する光等化フィルタ（例えばマッハツェンダ型フィルタやファブリペロ型フィルタ）を適当な間隔で光ファイバ伝送路に挿入する方法が検討されてきた。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 光増幅中継伝送路の波長特性を補償する従来の光等化フィルタの特性は試行錯誤的に決定され、効率的に設計する方法が確立していない。

【0005】 また、試行錯誤により、ある波長特性に対応する光等化フィルタを構成しても、光信号レベルや光増幅器出力等の変化に応じて波長特性が変化した場合には、光等化フィルタの特性を追従させることができなかった。

【0006】 本発明は、与えられた波長特性に対応する光等化フィルタを効率よく設計することができ、さらに波長特性の変化にも追従して常に平坦な波長特性を実現することができる波長等化装置を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 請求項 1 に記載の波長等化装置は、図 1 に示す基本構成のように、伝送帯域を含む所定の波長域を基本周期とする波長特性の逆特性（逆波長特性）をフーリエ級数展開した各項をそれぞれ近似する複数  $n$  個のフィルタモジュール  $1-1 \sim 1-n$  を直列に接続した構成である。

【0008】 光増幅中継伝送路のある区間の波長特性  $G(\lambda)$  [dB] が与えられたときに、その逆波長特性一

G(λ)は、フーリエ級数展開により、  
【0009】

\*【数1】

$$-G(\lambda) = a_0 + a_1 \cos\left(2\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_1\right) + \dots + a_n \cos\left(2\pi n \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n\right) \dots(1)$$

と表される。ここで、Δλは等化帯域、nは正の整数である。各フィルタモジュール1-1～1-nには、(1)式の各項を近似するフィルタ特性を設定する。

【0010】図2は、逆波長特性のフーリエ級数展開と近似的構成を示す。波長特性G(λ)に対する逆波長特性-G(λ)を第n次の項までフーリエ級数展開することにより、-G(λ)は基本周期および基本周期の整数倍の分

※周期をもつ余弦関数に分解できる。一般に、次数nを大きくすることにより、任意の精度で-G(λ)を近似することができる。

10 【0011】請求項2に記載の波長等化装置は、(1)式の第n項を近似するために、

【0012】

【数2】

$$M_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{N}, \phi_n \right] = \frac{a_n}{N} + 10 \log \left[ 1 + \alpha_n \left( \frac{a_n}{N} \right) \sin^2 \left\{ n\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n \right\} \right]$$

$$\alpha_n(a_n) = 10^{a_n/5} - 1 \dots(2)$$

と設定したマッハツェンダ型フィルタをN個直列(Nは正の整数)に接続する。

20★の第n項を近似するために、

【0014】

【0013】請求項3に記載の波長等化装置は、(1)式★

【数3】

$$F_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{N}, \phi_n \right] = \frac{a_n}{N} + 10 \log \left[ \frac{1}{1 + \beta_n \left( \frac{a_n}{N} \right) \sin^2 \left\{ n\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n \right\}} \right]$$

$$\beta_n(a_n) = 10^{a_n/5} - 1 \dots(3)$$

と設定したファブリペロ型フィルタをN個直列(Nは正の整数)に接続する。

30☆が、係数が十分に小さい場合には、余弦関数のよい近似となる。したがって、フーリエ級数展開の各項を

【0016】

【0015】ここで、実際のマッハツェンダ型フィルタの特性M<sub>1</sub>(θ)およびファブリペロ型フィルタの特性F<sub>1</sub>(θ)は、図3に示すように余弦関数から外れている ☆

【数4】

$$a_n \cos \left\{ 2n\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n \right\} \approx NM_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{N}, \phi_n \right]$$

または

$$a_n \cos \left\{ 2n\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n \right\} \approx NF_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{N}, \phi_n \right] \dots(4)$$

のように構成すれば、図4に示すようにフィルタの個数Nを増やすことにより近似の精度を高くすることができる。すなわち、波長等化装置通過後の波長等化特性を改善することができる。

【数5】

$$\alpha_n(a_n) = 10^{a_n/10} - 1$$

...(5)

$$\beta_n(a_n) = 10^{a_n/10} - 1$$

と設定する。

【0017】請求項4に記載の波長等化装置は、(1)式の第n項を近似するために、上記のマッハツェンダ型フィルタとファブリペロ型フィルタを組み合わせ、その係数を

【0019】ここで、フーリエ級数展開の各項を

【0020】

【数6】

【0018】

$$a_n \cos \left[ 2n\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} + \phi_n \right]$$

$$\approx M_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{2}, \phi_n \right] + F_n \left[ \lambda, \frac{a_n}{2}, \phi_n \right] \quad \dots(6)$$

のように構成すれば、1つのマッハツェンダ型フィルタと1つのファブリペロ型フィルタの組み合わせでも、図5に示すようにさらに余弦関数に近い特性を得ることができ、より精度のよい波長等化装置を構成することができる。

【0021】また、マッハツェンダ型フィルタやファブリペロ型フィルタに代えて、ファイバグレーティング等の回折格子を用いても同様に波長等化装置を構成することができる（請求項5）。

【0022】ところで、請求項1～5に記載の波長等化 \*

$$-G(\lambda) = a_0 + \sum_{i=1}^n \left\{ \alpha_i \cos \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] + \beta_i \sin \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \right\}$$

$$a_i = (\alpha_i^2 + \beta_i^2)^{1/2}$$

$$\phi_i = \tan^{-1} \left( \frac{\beta_i}{\alpha_i} \right) \quad \dots(7)$$

とする。このとき、(7)式の第*i*項に対応する誤差を含むフィルタモジュールの特性  $E_i$  は、

\*装置を実際に構成する際に、現実のフィルタ特性と理想的なフィルタ特性との間にわずかな誤差が生じる場合には、中継数を重ねるにつれて誤差の累積が問題となる。そこで、現実のフィルタ特性の誤差を補正するフィルタの設定法について以下に説明する。

【0023】(1)式に示した波長逆特性  $-G(\lambda)$  を変形し、

【0024】

【数7】

※【0025】

※【数8】

$$E_i = c_i + \sum_{j=1}^n \left\{ \alpha_{ij} \cos \left[ 2j\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] + \beta_{ij} \sin \left[ 2j\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \right\}$$

... (8)

と表される。ただし、 $c_i$  は定数であり、 $x = \alpha, \beta$  としたときに、

$$x_{ii} = x_i$$

$$|x_{ij}| \ll |x_i| \quad (i \neq n)$$

である。

【0026】ここで、各  $E_i$  の中で同じ周期の項をまとめると、

【0027】

【数9】

$$E_i' = c_i' + \left\{ \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \right\} \cos \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right]$$

$$+ \left\{ \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \right\} \sin \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \quad \dots(9)$$

が得られる。(7)式の第*i*項と(9)式を比較することにより、

【0028】

【数10】

$$\alpha_{ii} = \alpha_i - \sum_{j \neq i}^n \alpha_{ij}$$

$$\beta_{ii} = \beta_i - \sum_{j \neq i}^n \beta_{ij} \quad \dots(10)$$

が得られる。

【0029】この(10)式を満たすように各フィルタモジュールのフィルタ特性を設定することにより、所定の特性を有する高精度の波長等化装置を構成することができる。請求項6に記載の波長等化装置は、波長特性の変化に追従して常に平坦な波長特性を実現するための構成である。すなわち、光増幅中継伝送路に所定の間隔で配置される波長等化装置の入力または出力の波長特性を測定する波長特性測定手段と、波長特性測定手段で測定された波長特性に高速フーリエ変換を施し、波長等化装置の透過率および中心波長を決定する解析手段と、解析手段で得られたデータに従って波長等化装置の各フィルタモジュールの波長特性を制御する制御手段とを備える。

【0030】さらに、1つの波長特性測定手段、解析手段、制御手段により、入力または出力の波長特性を測定した波長等化装置およびその前後に配置される所定数の波長等化装置の各フィルタモジュールの波長特性を一括制御する構成としてもよい（請求項7）。

【0031】請求項6、7に記載の波長等化装置において、波長特性  $G(\lambda)$  に対してその逆特性  $-G(\lambda)$  のフーリエ級数展開によって定義される波長特性  $Q(\lambda)$  をもつ波長等化装置(1)による等化波長特性を  $G_2(\lambda)$  とする



【0032】

\* \* 【数11】

$$G(\lambda) + Q(\lambda) = G_2(\lambda)$$

$$Q(\lambda) = -G(\lambda)$$

$$= \sum_{i=1}^n \left\{ c_i + \alpha_i \cos \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] + \beta_i \sin \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \right\}$$

…(11)

と表される。この等化波長特性 $G_2(\lambda)$ は、以上説明した本発明の波長等化装置により平坦な波長特性となる。

【0033】次に、 $G(\lambda)$ に変動が生じて $G'(\lambda)$ となり、変動前の等化波長特性 $G_2(\lambda)$ が $G_2'(\lambda)$ に変化した場合には、その逆特性 $-G_2'(\lambda)$ のフーリエ級数展開によって定義される波長等化装置(2)を新たに追加 ※

$$G'(\lambda) + Q(\lambda) + Q'(\lambda) = G_2(\lambda)$$

$$Q'(\lambda) = -G_2'(\lambda)$$

$$= \sum_{i=1}^n \left\{ c_i' + \alpha_i' \cos \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] + \beta_i' \sin \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \right\}$$

…(12)

と表される。

20 ★置に統合することができる。

【0035】通常、波長等化装置(1)、(2)は、以下の式で表される波長特性 $Q_2(\lambda)$ をもつ1つの波長等化装 ★

【0036】

★ 【数13】

$$Q_2(\lambda) = \sum_{i=1}^n \left\{ c_i'' + (\alpha_i + \alpha_i') \cos \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] + (\beta_i + \beta_i') \sin \left[ 2i\pi \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right] \right\} \quad \dots(13)$$

【0037】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態：請求項1～5)図6は、本発明の波長等化装置の第1の実施形態を示す。

【0038】波長多重光伝送システムは、図6(a)に示すように、光ファイバ伝送路12と光増幅中継器13を接続した光増幅中継伝送路を介して、送信装置11から受信装置14へ波長多重光信号を伝送する構成である。本発明の波長等化装置15は、この光増幅中継伝送路に所定の間隔で配置され、図1に示したように、直列に接続されたn個のフィルタモジュール1-1～1-nで構成される。

【0039】図6(b)に示す波長等化装置15は、各フィルタモジュールが1つまたはN個のマッハツェンダ型フィルタ(MZ)を直列に接続した構成である。図6(c)に示す波長等化装置15は、各フィルタモジュールが1つまたはN個のファブリペロ型フィルタ(FP)を直列に接続した構成である。図6(d)に示す波長等化装置15は、各フィルタモジュールが1つのマッハツェンダ型フィルタ(MZ)と1つのファブリペロ型フィルタ(FP)を直列に接続した構成である。

【0040】各フィルタモジュールの透過率および中心波長は、波長等化装置15に入力される波長多重光信号

※することにより、再び平坦な波長特性が得られる。ここで、波長等化装置(2)の波長特性を $Q'(\lambda)$ 、新たな等化波長特性を $G_2(\lambda)$ とすると、

【0034】

【数12】

の波長特性に高速フーリエ変換を施し、第n項までのフーリエ級数展開の各項の係数を算出してそれぞれ設定される。

【0041】(第2の実施形態：請求項6)図7は、本発明の波長等化装置の第2の実施形態を示す。本実施形態の波長等化装置16は、波長特性の変化に応じてフィルタ特性を変化させることを特徴とし、(a)はフィードバック構成、(b)はフィードフォワード構成を示す。

【0042】図において、光分岐器21で伝送に影響ない程度に分岐された光信号は、波長特性測定手段22に入力される。波長特性測定手段22によって測定された時間的な波長特性の情報は、解析手段23に送られる。解析手段23は、波長特性に高速フーリエ変換を施し、フーリエ級数展開の各項の係数から各フィルタモジュールの深さおよび中心波長を求め、制御手段24へ送出する。制御手段24は、得られた情報を元に各フィルタモジュール1-1～1-nの波長特性(透過率および中心波長)を制御する。

【0043】(第3の実施形態：請求項7)図8は、本発明の波長等化装置の第3の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第2の実施形態で示した波長等化装置16で得られた各フィルタモジュールの制御情報により、その前後に配置される波長等化装置17の各フィルタモジ

ュールの透過率および中心波長を制御するところにある。波長等化装置17は、波長特性が可変のフィルタモジュールを備えるだけで、波長特性の変化に対応する等化処理を行うことができる。

【0044】ここで、波長特性が可変のフィルタモジュールの具体例について、図9を参照して説明する。図9(a)は、マッハツェンダ型フィルタ31の光路中に屈折率が可変する屈折率変移媒質32-1、32-2を挿入した例を示す(請求項8)。制御手段24の制御により屈折率を可変させる屈折率変移媒質32としては、例えばリチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)を用いることができる。

【0045】図9(b)は、ファブリペロ型フィルタの光路中に利得を制御できる増幅媒体を挿入した例を示す(請求項9)。制御手段24の制御により利得を制御できるファブリペロ型フィルタにおける増幅媒体としては、例えば両端面に反射コーティング33-1、33-2を施した半導体光増幅器34を用いることができる。

【0046】図9(c)は、利得を制御できる増幅機能を備えた回折格子を用いた例を示す(請求項10)。ここでは、エルビウム添加・ファイバグレーティング35と励起光源36を用い、エルビウム添加・ファイバグレーティング35に入力する励起光パワーを制御手段24により制御する。

【0047】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1～5に記載の波長等化装置は、光増幅中継伝送路のある点における波長特性が与えられた場合に、その特性を補償する逆波長特性を効率的に設計することができる。特に、伝送距離が長くなる場合、従来の経験的な波長等化器の設定法では平坦な波長特性を長距離維持することが困難になるので、本発明のような明確な設計法がもたらす効果は大きい。

【0048】また、請求項6、7に記載の波長等化装置は、光増幅中継伝送路の波長特性に時間的な変化が生じて、各フィルタモジュールの透過率および中心波長を適当に設定することができ、常に平坦な波長特性を実現することができる。

【0049】また、請求項8～10に記載の波長等化装

置は、波長特性が可変のフィルタモジュールの具体例を示すものであり、これにより周期的フィルタの深さおよび中心波長を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長等化装置の基本構成を示す図。

【図2】逆波長特性のフーリエ級数展開と近似的構成を示す図。

【図3】マッハツェンダ型フィルタとファブリペロ型フィルタの特性を示す図。

10 【図4】フィルタ特性と余弦関数との誤差とフィルタ数の関係を示す図。

【図5】本発明装置による波長等化誤差とフーリエ級数展開の次数の関係を示す図。

【図6】本発明の波長等化装置の第1の実施形態を示すブロック図。

【図7】本発明の波長等化装置の第2の実施形態を示すブロック図。

【図8】本発明の波長等化装置の第3の実施形態を示すブロック図。

20 【図9】波長特性が可変のフィルタモジュールの具体例を示す図。

【符号の説明】

1-1～1-n フィルタモジュール

11 送信装置

12 光ファイバ伝送路

13 光増幅中継器

14 受信装置

15, 16, 17 波長等化装置

21 光分岐器

30 22 波長特性測定手段

23 解析手段

24 制御手段

31 マッハツェンダ型フィルタ

32 屈折率変移媒質

33 反射コーティング

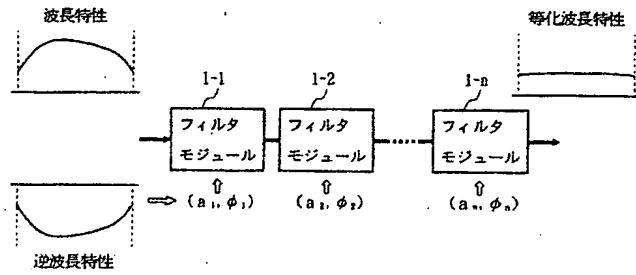
34 半導体光増幅器

35 エルビウムドープ・ファイバグレーティング

36 励起光源

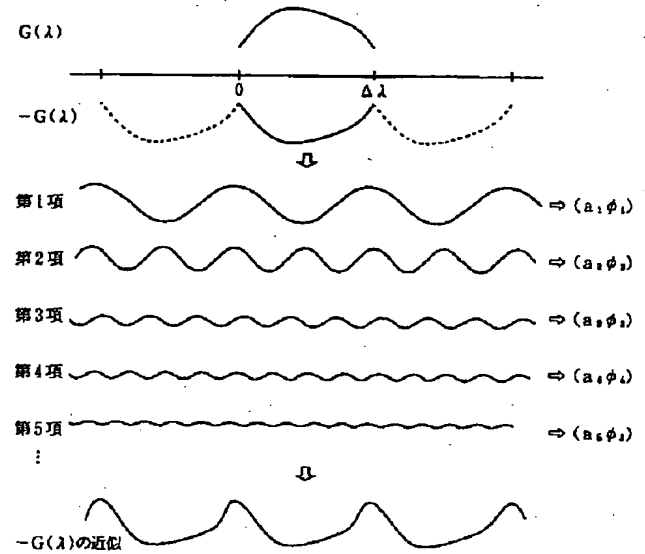
【図1】

本発明の波長等化装置の基本構成



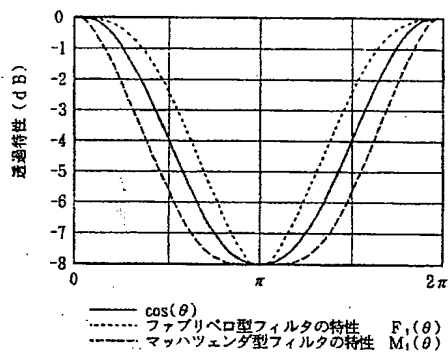
【図2】

逆波長特性のフーリエ級数展開と近似的構成



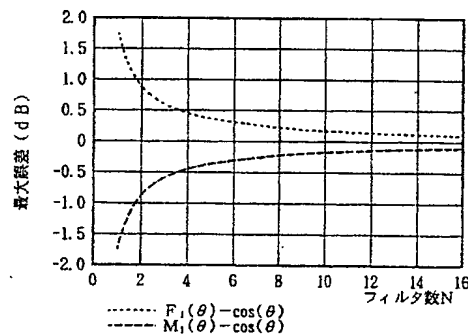
【図3】

マッハツェンダ型フィルタとファブリペロ型フィルタの特性



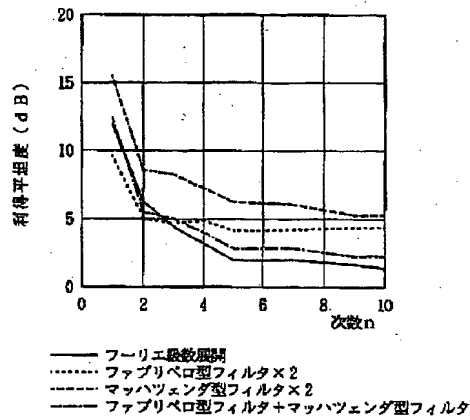
【図4】

フィルタ特性と余弦関数との誤差と、フィルタ数の関係



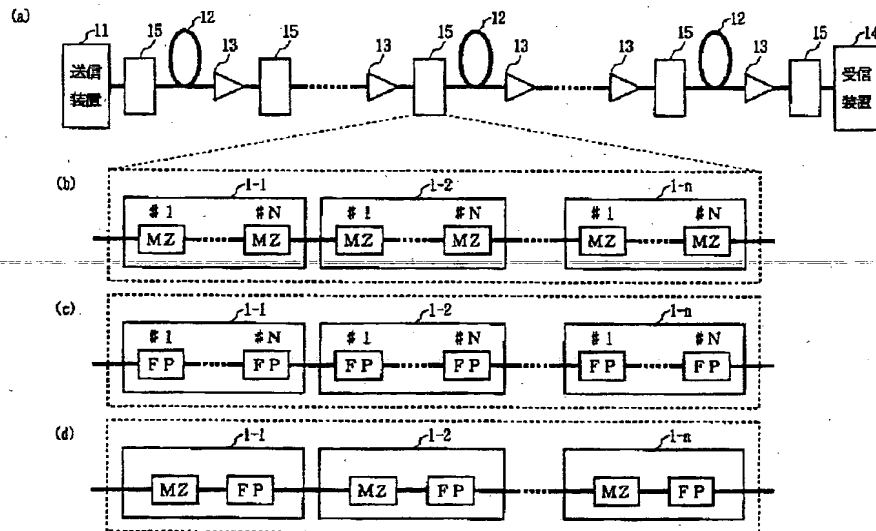
【図5】

本発明装置による波長等化誤差とフーリエ級数展開の次数の関係



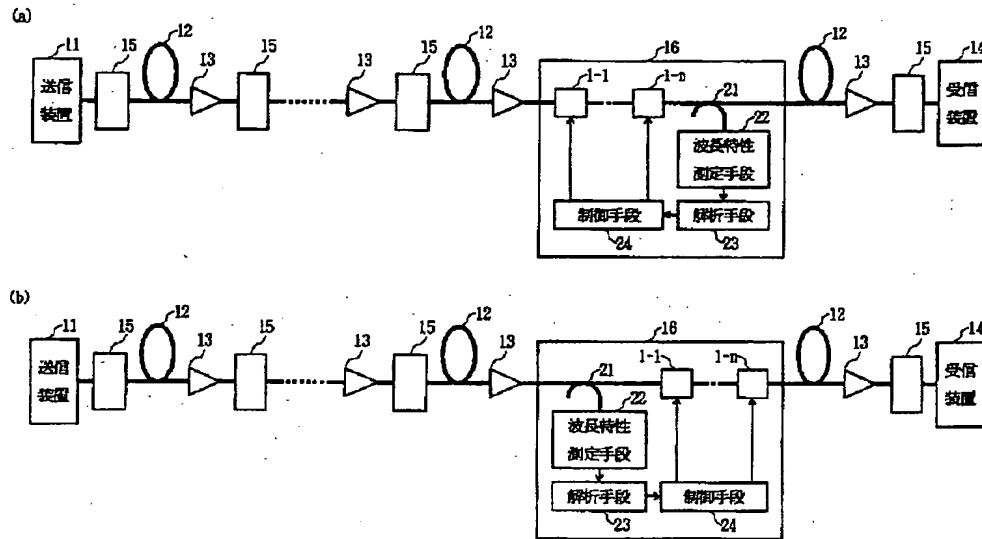
【図6】

本発明の波長等化装置の第1の実施形態



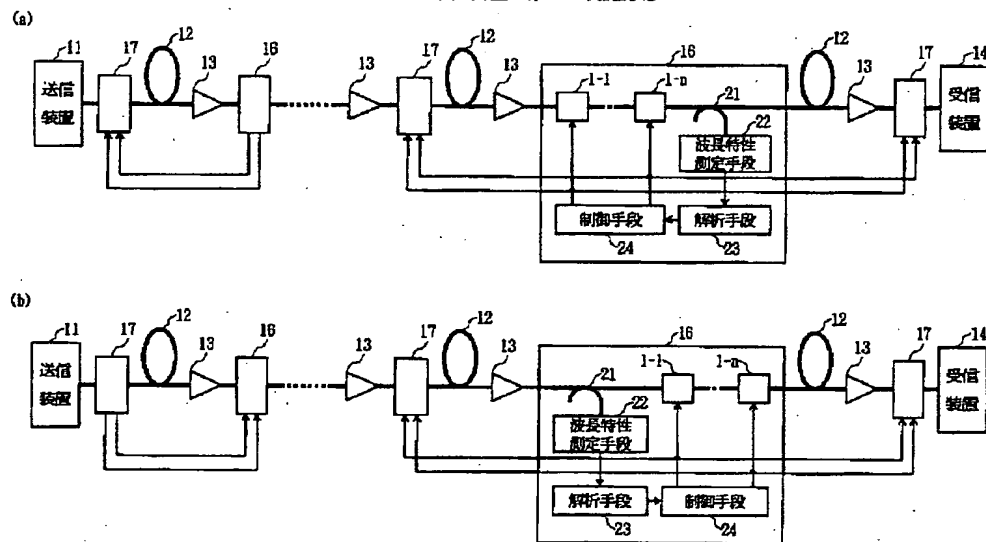
【図 7】

本発明の波長等化装置の第 2 の実施形態



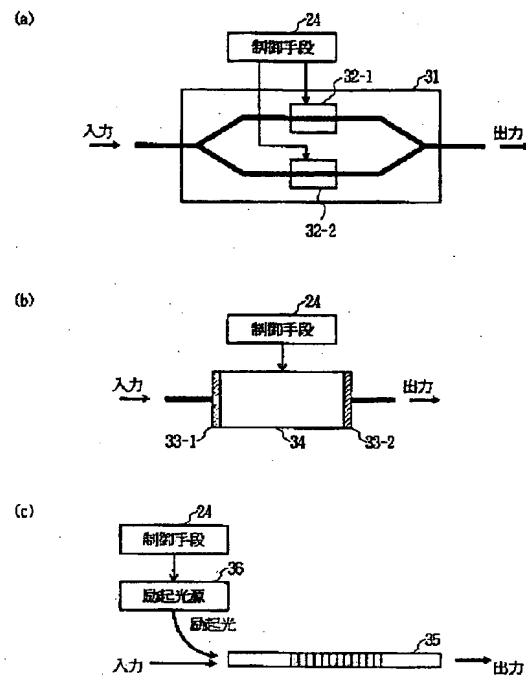
【図 8】

本発明の波長等化装置の第 3 の実施形態



【図9】

波長特性が可変のフィルタモジュールの具体例



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H O 4 B 10/16